DIRECTION GENERALE DES TERRES

LANDS DIRECTORATE

LES MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE ARÉOLAIRE SELON LES BESOINS ET OBJECTIFS DE LA SURVEILLANCE DE L'UTILISATION DES TERRES

DOCUMENT DE TRAVAIL Nº 24

Environnement Canada Environment Canada

Canada

85-1980/

LES MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE ARÉOLAIRE SELON LES BESOINS ET OBJECTIFS DE LA SURVEILLANCE DE L'UTILISATION DES TERRES

C.R. Bryant et L.H. Russwurm

Université de Waterloo

Janvier 1983

Direction générale des terres
Environnement Canada

Document de Travail No. 24

Available in English under the title:

Area Sampling Strategies in Relation to Land Use Monitoring Needs and Objectives

RÉSUMÉ

Étant donné la nécessité de surveiller ce qu'il advient des terres au Canada, les responsables du Programme de surveillance de l'utilisation des terres du Canada de la Direction générale des terres (Environnement Canada) ont mis sur pied des projets portant sur l'étude des changements d'utilisation des terres situées en zones urbaines et des terres de choix. Outre ces terres, il existe de vastes régions rurales dont l'utilisation est en train de changer en raison de l'urbanisation et du développement économique. Le présent rapport est basé sur une évaluation de la nature des changements qui se produisent dans l'utilisation des terres rurales, ainsi que sur un plan d'examen des stratégies de sondage et sur l'étude de certains programmes de sondage actuellement en cours dans d'autres pays; il contient des recommandations sur la structure globale que pourrait avoir un programme national de surveillance de l'utilisation des terres rurales, ainsi que sur les prochaines étapes qu'il serait nécessaire de franchir avant l'application éventuelle d'un programme de ce genre.

ABSTRACT

Given the need to monitor what is happening to Canada's land resources, the Canada Land Use Monitoring Program in the Lands Directorate of Environment Canada has already initiated projects dealing with land use changes in the urban-centred regions and prime resource lands of the country. Beyond these urban-fringe and unique areas, there are still vast areas of rural resource lands which are also undergoing various changes consequent upon urbanization and economic development. In this report, based on an appreciation of the nature of rural land use change, a conceptual framework for reviewing sampling strategies and a review of selected existing sampling programs in other countries, recommendations are made on the broad structure of a rural land use monitoring program for Canada and on the necessary next steps required prior to eventual implementation.

No.de catalogue EN 73-4/24F
ISBN 0-662-92086-4

REMERCIEMENTS

Les auteurs désirent remercier P.C. Rump, chef de la Division de la surveillance de l'utilisation des terres, Environnement Canada; D. Gierman, également de la Direction générale des terres, Environnement Canada; ainsi que le Dr. P. Cohen et D. MacLeod, de la Division des statistiques appliquées, Environnement Canada, pour leur précieuse assistance et les critiques constructives qu'ils ont apportées lors des premières versions de ce rapport. Ils désirent également exprimer toute leur reconnaissance au Dr. G. Bennett, du Département de la statistique de l'université de Waterloo, pour ses judicieux conseils pendant la rédaction de ce rapport et à Danielle Bégin, pour la révision et la correction d'épreuves de la version française du document.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ	iii
ABSTRACT	iii
REMERCIEMENTS	vi
TABLEAUX	vii
FIGURES	viii
1. INTRODUCTION ET APERÇU GÉNÉRAL	1
1.1 Objectifs	1
1.2 Structure du rapport	1
2. BESOINS ET OBJECTIFS DU PROGRAMME DE SURVEILLANCE DE L'UTILISATION DES TERRES AU CANADA	2
3. LA NATURE DES CHANGEMENTS DANS L'UTILISATION DES TERRES	6
4. MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE ARÉOLAIRE - UN CADRE THÉORIQUE	16
4.1 Comparaison de diverses méthodes d'échantillonnage	16
4.2 Variations dans la distribution et les changements dans l'utilisation des terres	18
4.3 Quatre façons de caractériser les méthodes d'échantillonnage aréolaire	23
4.3.1 Échantillons aléatoires/échantillons systématiques	23
4.3.2 Stratification/non stratification	29
4.3.3 Forme de l'unité d'échantillonnage dans un échantillon aréolaire	32
4.3.4 Rapport entre échantillons échelonnés	33
4.4 Résumé	37
5. REVUE DE DIVERSES MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE ARÉOLAIRE METTANT L'ACCENT SUR LA SURVEILLANCE DU CHANGEMENT	38
5.1 Estimation des inventaires ou surveillance du changement	38
5.2 Revue des travaux existants	39
5.2.1 Organisation et historique	39
5.2.2 Approches de base	40
5.2.3 Europe de l'Ouest	41
5.2.4 États-Unis	52

Page

6. RECOMMANDATIONS SUR LA RECHERCHE FUTURE EN MATIÈRE DE SURVEILLANCE DE L'UTILISATION DES TERRES DANS LE CADRE DU PROGRAMME DE SURVEILLANCE DE L'UTILISATION DES TERRES AU CANADA 61
6.1 Recommandations portant sur les suggestions en matière d'application du programme de surveillance de l'utilisation des terres du Canada 61
6.2 Structure générale d'un programme de surveillance de l'utilisation des terres rurales 62
6.3 Les recherches futures en matière de surveillance de l'utilisation des terres 65

BIBLIOGRAPHIE 68

LA SÉRIE DE DOCUMENTS DE TRAVAIL 75

TABLEAUX

		Page
Tableau 1	Proposition d'une classification de l'activité/couverture des terres pour la surveillance nationale dans les régions rurales	8
Tableau 2	Changement dans l'utilisation des terres, région périurbaine de London, 1963-1970	10
Tableau 3	Changement dans l'utilisation des terres, région périurbaine de London, 1970-1976	11
Tableau 4	Changement dans l'utilisation des terres, région périurbaine de London, 1963-1976	12
Tableau 5	Situation hypothétique du changement dans l'utilisation des terres	15
Tableau 6	Variances pour une utilisation des terres selon diverses tailles des cases	21
Tableau 7	Caractéristiques sommaires de divers programmes étrangers	42
Tableau 8	Strates standard d'utilisation des terres utilisées dans la base de données d'échantillonnage agricole des États-Unis	55
Tableau 9	Système de classification de l'utilisation et de la couverture des terres du United States Geological Survey utilisant des données de télédétection	58
Tableau 10	Secteurs de changement potentiel l'utilisation/couverture des terres selon le United States Geological Survey	59

FIGURES

		Page
Figure 1	Distribution d'une utilisation "ponctuelle" des terres dans une région	20
Figure 2	Variances pour diverses utilisations des terres choisies selon différentes tailles de case	21
Figure 3	Divers types de méthodes d'échantillonnage par points	27

1. INTRODUCTION ET APERÇU GÉNÉRAL

1.1 Objectifs

Ce rapport a deux grands objectifs :

a) Faire une revue de diverses méthodes d'échantillonnage visant à recueillir des informations valides et systématiques sur l'affectation des terres utilisées dans d'autres pays, notamment les États-Unis et l'Europe de l'Ouest, et évaluer jusqu'à quel point ces méthodes pourraient répondre aux besoins et aux objectifs du programme de surveillance de l'utilisation des terres au Canada (P.S.U.T.C.).

b) Élaborer une structure englobant diverses méthodes d'échantillonnage aréolaire, et faire des recommandations sur la stratégie générale que le P.S.U.T.C. devrait adopter dans les régions rurales, notamment sur les priorités de recherche et les essais de méthodes de rechange nécessaires à l'évaluation de l'exactitude et des coûts relatifs de chacune d'elles.

Pour ce qui est du premier objectif, l'approche adoptée a consisté à utiliser les renseignements disponibles à la Direction générale des terres sur divers programmes d'échantillonnage étrangers, puis à compléter ces informations au moyen d'une revue de certains journaux professionnels et d'autres rapports disponibles à l'université de Waterloo. Des renseignements supplémentaires ont également été acquis grâce à des communications personnelles avec certains organismes. Le deuxième objectif, l'élaboration d'un cadre général, donne actuellement lieu à un examen de la documentation sur les divers programmes étrangers et à une évaluation plus globale de l'ensemble de la littérature portant sur l'échantillonnage aréolaire.

L'approche adoptée est, par conséquent, à la fois réflective et synoptique; aucune des méthodes d'échantillonnage n'a été mise en application, mais divers exemples et situations hypothétiques ont servi à illustrer les principaux points. Nous avons également fait appel à certains essais antérieurs effectués avec diverses techniques d'échantillonnage, ainsi qu'à certaines données portant sur les changements dans l'utilisation des terres qui font ressortir les problèmes posés par la surveillance au moyen de sondages.

1.2 Structure du rapport

Comme il s'agit de passer en revue des méthodes d'échantillonnage en fonction des besoins et des objectifs du P.S.U.T.C., en insistant sur les aspects surveillance et détection des changements, commençons par préciser justement quels sont ces besoins et ces objectifs (chapitre 2). En général, les programmes sont élaborés en fonction d'objectifs précis; il est donc nécessaire d'établir leurs différences à cet égard.

Bien que certains principes aient été énoncés dans les divers rapports publiés dans le cadre du P.S.U.T.C. en ce qui concerne, par exemple, les degrés de précision et les niveaux d'information, ces décisions d'ordre pratique ne doivent pas être considérées comme absolues. Il peut en effet se trouver des situations dans lesquelles un ensemble de règles différentes se révèle plus approprié,

sans que les besoins et les objectifs généraux n'aient changé.

Il s'agit donc avant tout de déterminer le potentiel des différentes méthodes, à détecter les changements dans la couverture et l'utilisation des terres de façon à obtenir un tableau général (chapitre 3) de la nature des changements dans la couverture et l'utilisation des terres. Certaines données sont présentées pour illustrer, dès le début, les difficultés que pose la détection de certains types de changement. Bien que la grille, permettant de placer les diverses méthodes en perspective, ait été élaborée à partir de la revue des exemples de programmes choisis et de l'ensemble de la documentation sur la question, la grille elle-même n'est décrite qu'au chapitre 4, étant donné qu'elle constitue le tableau de fond contre lequel chacun des programmes choisis est contrasté. En même temps, le rôle des différentes sources de données, par exemple les données de recensement, les photographies aériennes et l'imagerie Landsat, dans un programme de surveillance est également souligné, étant donné que la diversification des sources de données peut aussi permettre de satisfaire différents besoins et objectifs.

Au chapitre 5, un certain nombre de programmes étrangers sont examinés, et les grands problèmes sont identifiés et mis en rapport avec les besoins et objectifs du P.S.U.T.C.

Enfin, un ensemble de recommandations est présenté, et reflète l'opinion des auteurs sur les priorités en matière de surveillance de l'utilisation des terres, sur l'évaluation des divers programmes étrangers, ainsi que sur les développements probables qui auront lieu dans le traitement et la collecte des données. Les auteurs insistent particulièrement sur la nécessité d'élaborer un programme national qui puisse éventuellement être intégré à d'autres programmes provinciaux et régionaux et qui permette, d'autre part, une utilisation maximale des systèmes de collecte et de stockage des données (par exemple les données de recensement) existants ou en cours d'élaboration. Enfin, ce programme devrait permettre d'intégrer d'autres types de données qui ont, à l'heure actuelle, une moindre importance pour le P.S.U.T.C.

2. BESOINS ET OBJECTIFS DU PROGRAMME DE SURVEILLANCE DE L'UTILISATION DES TERRES AU CANADA

A un niveau très général (Gierman, 1981), trois objectifs ont été définis pour les programmes de surveillance de l'utilisation des terres :

a) Surveiller les tendances en matière d'utilisation des terres;
b) Surveiller l'ampleur, l'emplacement et le type de changements d'utilisation des terres;
c) Surveiller les changements d'utilisation des terres dans certaines régions spécifiques.

L'expression utilisation des terres recouvre les notions de couverture, d'activité, de propriété/mode d'occupation et de qualité des ressources (Gierman, 1981). Il est important de garder à l'esprit cette interprétation large; la plupart des analyses effectuées à la Direction générale des terres dans le

cadre du P.S.U.T.C. portaient surtout sur la couverture, l'activité et la qualité des ressources, et ont souvent négligé, pour des raisons d'ordre économique, les caractéristiques de propriété foncière en dépit du rapport important qui peut exister entre un changement de propriété et un changement dans l'utilisation de la terre. Bien qu'une telle position puisse se justifier à l'heure actuelle, il faudrait rappeler que certaines méthodes de collecte de données sur les régions rurales pourraient, plus facilement que d'autres, servir de base à la collecte de données systématiques sur la propriété foncière.

A un niveau encore plus spécifique (D.S.U.T., 1980a), les objectifs de tout programme de surveillance de l'utilisation des terres ont été définis comme suit :

a) Surveiller l'utilisation des terres à l'échelle nationale et régionale afin de produire des statistiques, des cartes et des rapports;
b) Élaborer une perspective et une base de données nationales qui facilitent l'évaluation des programmes fédéraux;
c) Plus généralement, permettre à la Direction générale des terres d'exercer son rôle de chien de garde sur les ressources foncières du pays.
Et de façon globale, permettre à la Direction générale des terres d'exercer une surveillance sur les ressources foncières du pays.

Il a également été suggéré (D.S.U.T., 1980b) de faire en sorte que le P.S.U.T.C., tout en insistant sur les aspects couverture et activité de l'utilisation des terres, permette aux chercheurs de corréler les données du programme à celles d'autres bases de données socio-économiques.

Enfin, on compte, parmi les documents du P.S.U.T.C. (par exemple P.S.U.T.C./A.C., 1980), cinq énoncés de principes, dont certains ont déjà été adoptés, concernant la mise en oeuvre d'un programme de surveillance basé en partie sur l'échantillonnage. Ces principes sont énumérés et brièvement commentés ci-dessous.

a) Il est suggéré que le pays soit divisé (grossièrement stratifié) en un certain nombre de grands domaines d'après le type et le changement d'utilisation des terres, soit en régions urbaines, régions rurales, terres de choix et terres sauvages. Le volet régions urbaines du P.S.U.T.C., comportant un inventaire complet de la couverture et de l'activité des terres, est déjà en cours. La première étude sur les terres de choix porte sur les terres fruitières; elle fait appel, pour la surveillance, à une méthode d'inventaire global. Toutefois, les prochaines études qui se feront dans ce domaine pourraient utiliser une approche par échantillonnage. Il n'existe encore aucun relevé définitif dans le domaine des terres sauvages. Par conséquent, le domaine de premier intérêt pour la présente étude est le domaine rural.

Il importe de remarquer que la délimitation précise des régions urbaines, par opposition aux régions rurales, a une importance considérable. Comme on le verra plus loin, toute

stratification est efficace si elle permet de définir des strates relativement homogènes, à moins que la ou les unités définies aient une signification quelconque en termes d'unité recensée. Compte tenu de ce qui a été dit ci-dessus à propos de la compatibilité de ces unités avec d'autres sources de données (par exemple les données de recensement), une certaine attention devrait être accordée à la délimitation précise des régions urbaines.

b) Pour ce qui est des niveaux de recensement, les principales unités recensées, compte tenu de la perspective nationale que doit adopter le P.S.U.T.C., sont le pays en entier, les cinq groupements de provinces traditionnels et les provinces elles-mêmes. Initialement, le P.S.U.T.C. devait également tenir compte d'un niveau de recensement inférieur englobant environ 50 à 60 régions d'utilisation des terres (P.S.U.T.C./A.C., 1980); cependant, étant donné le rôle avant tout national du P.S.U.T.C. et compte tenu des coûts, il semble que les unités recensées inférieures au niveau provincial ne devraient pas relever de la Direction générale des terres. Il faut quand même reconnaître que de nombreux autres utilisateurs sont davantage intéressés par une échelle de recensement plus petite.

Le programme national devrait permettre d'intégrer tout effort régional qui vise à surveiller les changements à une échelle géographique réduite. Ces deux questions, soit l'échelle des unités de recensement et la flexibilité nécessaire à l'intégration éventuelle d'unités définies à une échelle plus petite, sont importantes. Si un certain ensemble de régions d'utilisation des terres devait servir à stratifier le domaine rural, en vue d'évaluer la rentabilité d'un changement dans l'occupation du sol au niveau provincial, il devrait néanmoins y avoir un rapport particulier entre les strates utilisées et le niveau de recensement situé à une échelle inférieure. La somme de travail nécessaire, pour obtenir un degré de précision donné (voir ci-dessous), varie également selon le nombre et la taille des unités de recensement.

c) Dans les régions urbaines on a décidé de procéder à des inventaires complets tous les 5 ans; un intervalle de 10 ans a été jugé plus approprié pour l'échantillonnage des régions rurales.

Dans les premiers documents du P.S.U.T.C., (D.S.U.T., 1980a) on considérait ces échantillonnages décennaux comme faisant partie d'un inventaire complet effectué tous les 30 ans, en grande partie à cause du contrôle "qualitatif" de l'échantillonnage. Toutefois, même en laissant de côté toute considération d'ordre financier, d'autres formes de vérification pourraient être appliquées sans nécessiter un inventaire complet dans tout le pays. Il serait possible d'évaluer par exemple, un échantillonnage plus dense effectué dans certaines unités de recensement toutes les deux années d'échantillonnage,

l'utilisation des données de recensement comme mesure de vérification sommaire, ou la compilation de dossiers régionaux réunissant les données sur les tendances en matière d'utilisation des terres (les études de planification, les thèses, etc.). Par ailleurs, la période couverte par un programme d'échantillonnage visant à détecter les changements est particulièrement importante puisqu'elle influe sur l'ampleur relative de l'aire qui connaît un type de changement particulier. C'est pourquoi, compte tenu de la lenteur des changements en zone rurale, un intervalle de 10 ans semble plus approprié qu'un intervalle de 5 ans.

d) Les données sur l'activité et la couverture des terres doivent se fonder essentiellement sur les données de télédétection (à l'heure actuelle, à partir de photographies aériennes noir et blanc), dans le contexte de la nouvelle classification adoptée par la Direction générale des terres (Gierman, 1981). Pour un niveau donné de dépenses consacrées à un programme d'échantillonnage et pour des degrés donnés de précision (voir le chapitre 4 pour la définition de ce dernier terme), le niveau de détail du système de classification utilisé n'est pas indépendant du nombre d'unités recensées dans le pays. Le niveau de détail qu'il est possible d'obtenir dans un programme d'échantillonnage est inversement proportionnel au nombre d'unités recensées. Cette question est traitée plus en profondeur ci-dessous.

e) Il est suggéré d'isoler seulement les utilisations importantes pour fin de surveillance de l'utilisation des terres. Ainsi, la tendance a été d'utiliser une catégorie qui couvre au moins 3 % (P.S.U.T.C./A.C., 1980) de l'aire géographique à échantillonner, soit une région d'utilisation des terres ou une province. En matière d'échantillonnage, on a suggéré que chaque grande utilisation des terres soit évaluée en fonction d'une erreur maximale (voir ci-dessous) de 5 % de l'évaluation, compte tenu d'un niveau de confiance de 95 %.

Il faut également chercher ce qui constitue une valeur "significative", et voir si d'autres approches, autres que l'échantillonnage à partir de données de télédétection, pourraient convenir à certaines utilisations. En d'autres mots, il s'agit de trouver une méthode qui consiste à garder en mémoire des utilisations qui ne figurent pas parmi les utilisations "principales" à l'heure actuelle. Il serait donc intéressant de disposer de certaines données sur des utilisations secondaires qui pourraient éventuellement devenir principales. Cependant, il faudrait porter attention à toute utilisation ou tout changement observé, quelle que soit son importance statistique, c'est-à-dire effectuer une enquête plus poussée par l'intermédiaire de bureaux provinciaux et régionaux. De plus, il faudrait vérifier si telle utilisation ou tel changement risque d'acquérir un jour une importance pratique, nécessitant, par exemple, une modification du niveau de détail de la

collecte d'informations sur l'utilisation des terres.

Ces quelques recommandations ou suggestions, tirées de divers documents de la Direction générale des terres ou de conversations avec le personnel de la Direction, ne doivent pas être considérées comme définitives. Dans la discussion générale qui porte sur la nature du changement et sur les diverses méthodes d'échantillonnage, nous analyserons la nature des objectifs généraux d'un P.S.U.T.C. tels que définis ci-dessus, et évaluerons certaines propositions précises portant sur la mise en oeuvre d'un tel plan.

3. LA NATURE DES CHANGEMENTS DANS L'UTILISATION DES TERRES

Une des composantes primordiales d'un programme de surveillance de l'utilisation des terres n'est pas nécessairement faite à partir d'un système de classification des utilisations ou encore d'une méthode utilisée pour obtenir des données brutes, mais plutôt par la détermination des types d'utilisations et de changements qui doivent être relevés. Certains changements peuvent en effet être considérés comme étant importants parce qu'ils comportent le transfert irréversible d'une ressource possédant des qualités particulières d'une utilisation à une autre. En d'autres mots, une terre agricole de qualité supérieure peut soudainement être utilisée à des fins urbaines, ou encore une terre présentant un grand potentiel récréatif peut servir à des fins résidentielles ou à l'exploitation minière. Si ces ressources sont fortement valorisées, l'impact d'une telle conversion sur la base de ressources doit évidemment être étudié. Dans d'autres cas, certains changements dans l'utilisation des terres peuvent avoir des répercussions non seulement sur la base de ressources, mais aussi sur les utilisations environnantes. Par exemple, un aménagement non agricole disséminé peut avoir des répercussions sur l'aménagement agricole environnant. Une des premières étapes de l'évaluation de tels impacts consiste évidemment à déterminer l'ampleur du changement mettant en jeu un tel aménagement résidentiel. Enfin, dans d'autres cas, certains changements peuvent avoir des répercussions considérables sur la structure économique et sociale d'une région, comme l'aménagement d'installations industrielles dans un secteur rural. Bien qu'il soit impossible de déterminer tous les types de changement d'utilisation des terres qui pourraient éventuellement se révéler importants, il est quand même possible de dresser une liste précise et complète.

Il faut donc se pencher logiquement, sur la façon dont ces utilisations et ces changements peuvent être détectés, et déterminer quelle devrait être la principale source de données. Pour ce qui est des aspects couverture et activité des terres, une des principales sources de données est l'utilisation de la télédétection combinée à des vérifications plus ou moins poussées sur le terrain. Avec le nouveau système de classification de l'utilisation des terres (Gierman, 1981), la photographie aérienne classique constitue une source majeure. Toutefois, toutes les catégories ne peuvent pas être identifiées par la photographie aérienne. Il est également important de remarquer que, selon l'échelle utilisée, certains types d'utilisation peuvent être absents sur la représentation cartographique d'une région. Même avec ses diverses classes

d'affectation des sols, il serait difficile de dire, par exemple, si les résidences disséminées sont agricoles ou non agricoles. Il est donc important que le système de classification, la base de données brutes et la façon dont les données sont recueillies (soit par points ou par aires) et représentées, soient choisis en fonction des utilisations et des changements sur lesquels on veut obtenir des informations.

Plusieurs approches ont été suggérées à ce chapitre. Rump et Gierman ont proposé un sous-ensemble de classification du P.S.U.T.C. pour la couverture et l'activité des terres dans les régions rurales (tableau 1). Ce sous-ensemble repose sur deux critères. D'abord, les classes doivent occuper une superficie suffisante pour être définies avec une exactitude raisonnable au niveau national par échantillonnage. Ensuite, les classes doivent refléter la distinction entre les principales activités qui comportent une utilisation des terres, à titre de ressource renouvelable productive (agriculture, foresterie, faune et récréation), et les activités qui n'utilisent les terres qu'en tant qu'emplacement ou pour ses ressources non renouvelables.

Quoiqu'il en soit, la question demeure à savoir si la surveillance de ces classes peut effectivement mettre en lumière certains des grands processus qui entrent en jeu dans les régions rurales. En grande partie, il est possible de voir et détecter le processus général d'expansion des utilisations urbaines et paraurbaines dans le milieu rural en procédant à un échantillonnage à l'aide de ces catégories très grossières, bien que la composante des Régions Urbaines du P.S.U.T.C. couvre déjà les secteurs soumis à l'activité la plus intense. Il pourrait cependant se révéler difficile de détecter des processus importants, comme l'industrialisation rurale, qui peuvent avoir de profondes répercussions sur l'utilisation à long terme des ressources rurales. De telles classifications ne peuvent guère fournir des renseignements utiles sur certains des effets des divers processus, tels l'impact environnemental négatif qu'il peut y avoir sur la base des ressources, la modernisation et la rationalisation de l'agriculture. Pour cela il faut disposer de données supplémentaires, et effectuer des enquêtes ponctuelles là où de tels problèmes ont été signalés par d'autres sources.

En outre, si l'on cherche à obtenir une évaluation juste et fiable d'une région soumise à certaines utilisations et à certains changements (par exemple l'abandon de terres agricoles), quelle que soit la méthode utilisée (par inventaire ou par échantillonnage), il faut reconnaître l'existence d'autres sources d'erreurs possibles. Si des erreurs systématiques se glissaient dans un système de classification de l'utilisation des terres, les résultats pourraient être davantage faussés que s'il ne s'agissait que d'erreurs d'échantillonnage, advenant qu'un échantillonnage quelconque ait été effectué. Selon les circonstances, l'échantillonnage peut même réduire ce genre d'erreurs de classification, en permettant une interprétation plus rigoureuse de chaque unité d'échantillonnage.

Comme en témoigne l'exemple de la région urbaine de London donné ci-dessous, un grand nombre d'erreurs de classification se sont glissées dans les phases initiales du premier Inventaire des terres du Canada (I.T.C.),

TABLEAU 1

PROPOSITION D'UNE CLASSIFICATION DE L'ACTIVITÉ/COUVERTURE DES TERRES POUR LA SURVEILLANCE NATIONALE DANS LES RÉGIONS RURALES

Classes d'activité des terres

Classe	Code*	Définition*
1	01110	Cultures de plantes annuelles sur des sols labourés
2	01120	Cultures de plantes fourragères et pâturages
3	02100	Activité sur les terres forestières productives
4	03100	Activité sur les terres fauniques
5	05100	Activités sur des terres à vocation récréative
6	01200, 02200, 03200, 04000 05200, 06000-10000	Activité utilisant la terre comme site**
7	12100	Activités agricoles antérieures
8	11000, 12200-12900, 13000 14000	Autres***

Classes de couverture des terres

Classe	Code*	Définition*
1	01100	Arbres matures
2	01200	Petits arbres, arbustes, arbres nains
3	02100	Cultures annuelles
4	02210	Graminées amendées ou légumineuses
5	02220	Graminées non amendées, roseaux et carex
6	03000	Surfaces dénudées
7	04000	Surfaces bâties
8	05000	Eau

* Tiré de Gierman, 1981

** Activités qui se font sur la terre et ne sont pas dépendantes de la terre comme moyen de production (ressources renouvelables). Parmi ces activités, mentionnons : Agriculture, foresterie, faune et récréation; extraction, habitation, transport et communication, fabrication et entreposage, commerce et institution.

*** Comprend les catégories "Activités antérieures non agricoles", "Aucune activité évidente", et "Terres en transition".

notamment dans la distinction entre terres cultivées et pâturages non amendés et entre terres forestières productives et improductives. Ce genre de problème de classification (voir par exemple Fitzpatrick et Chambers, 1977) soulève encore d'importantes questions en ce qui a trait à l'utilisation de l'imagerie satellite dans un programme de surveillance basé sur quelque forme d'échantillonnage. L'étude effectuée par Howarth (1982), pour la Direction générale des terres, fait ressortir les degrés de précision d'une simulation des prochains développements d'image satellite. Les degrés de précision varient de 40 à 100 %, selon l'utilisation particulière que l'on en fait. Des instructions détaillées, des vérifications et, pour certaines sources de données, les progrès technologiques peuvent éliminer ces problèmes. Dans d'autres cas, le biais peut être explicite, si on s'intéresse par exemple, aux données de recensement sur l'agriculture, basées sur une définition précise de la ferme de recensement : il faut alors être prudent dans l'interprétation de ces données en fonction des ressources foncières.

Les types de changement et la façon dont ils sont répertoriés dans certains systèmes de classification ne représentent qu'une dimension du changement. D'autres aspects importants doivent être considérés, comme la nature des processus sous-jacents à ces changements. Le changement, est-il associé aux régions urbaines dans un rapport de distance - détérioration ou, est-il relié à des allocations de ressources particulières? Ces questions peuvent influer sur le choix de la méthode de stratification et de l'intervalle utilisé pour mesurer les changements dans l'utilisation des terres. Cet intervalle de 1 ans, 5 ans ou 10 ans, est important pour l'analyse de ces processus. Certains processus de changement sont lents. A cet égard, dans une enquête par échantillonnage, une erreur de classification peut embrouiller davantage les configurations de changement réel qu'un choix de court intervalle.

En région rurale, les changements sont généralement lents, ceci pose certains problèmes de taille dans la définition des utilisations et des changements importants, dans une enquête par échantillonnage. Il s'ensuit que les régions qui connaissent des types de changements particuliers, sont souvent petites, et qu'une période de 10 ans est plus appropriée pour l'échantillonnage que la période de 5 ans adoptée pour les régions urbaines. Même dans la région urbaine de London (une région d'environ 98,000 hectares s'étendant dans un rayon d'environ 16 km autour de la ville de London (Ontario)), les changements dans l'utilisation des terres ne touchent pas de vastes superficies, bien qu'un changement dans une utilisation précise puisse se révéler très important compte tenu de l'ampleur initiale de l'utilisation en question. Les tableaux 2 et 3 donnent les matrices de changement pour la région de London pour les périodes de 1963 à 1970 et de 1970 à 1976. Ces données proviennent de la classification originale de l'I.T.C. et d'après les polygones de changement d'utilisation des terres fournis par la Direction générale des terres. D'une part, il est important de souligner que seulement 5 des utilisations (A, B, K, T et U) atteignaient la proportion critique de $\geqslant$3 % de la superficie totale du terrain établie par le P.S.U.T.C. (P.S.U.T.C./A.C., 1980) et

TABLEAU 2

CHANGEMENT DANS L'UTILISATION DES TERRES, RÉGION PÉRIURBAINE DE LONDON, 1963-1970*

Classes d'utilisation des terres de l'I.T.C.**		1970											TOTAL
		A	B	E	G	H	K	L	M	O	S	T	U	1963
1963	A	59707	2135	333	37	176	1208		3	191		166	486	64443
	B		8885											8885
	E	9	106	412			39			15			5	586
	G	39	47		201								4	292
	H	1100	93		5	174	30					6	2	1409
	K	2895	1571	49	9	22	4373			101		236	526	9781
	L							9						9
	M								20				4	24
	O									156				156
	S		8	26							9			42
	T	271	435	94		3	381		9	85		5114	1368	7762
	U	463	280	28		4	649	7		8		677	2346	4462
	TOTAL 1970	64484	13559	942	253	379	6681	16	34	556	9	6198	4742	97852

*Arrondi à l'hectare près; 3% de la superficie = 2936 ha.

**Classes d'utilisation des terres de l'I.T.C. :

A = cultures de plein champ (y compris les pâturages amendés et les cultures fourragères); B = secteurs habités; E = mines, carrières, sablières et gravières; G = vergers et vignobles; H = horticultures, entreprises avicoles et élevages d'animaux à fourrure; K = pâturages et herbages naturels; L = terres improductives (roc et autres zones stériles); M = marais, marécage ou fondrière; O = loisirs de plein air; S = terres improductives (sable) qui ne produisent aucune couverture végétale; T = terres boisées productives; U = terres boisées non productives.

TABLEAU 3

CHANGEMENT DANS L'UTILISATION DES TERRES, RÉGION PÉRIURBAINE DE LONDON, 1970-1976*

Classes d'utilisation des terres de l'I.T.C.**		1976											TOTAL
		A	B	E	G	H	K	L	M	O	S	T	U	1970
1970	A	62302	710	87	3	45	987			84		68	197	64484
	B		13559											13559
	E	4	9	847			68	-		1			13	942
	G	2			251									253
	H	15	8			356								379
	K	119	130	6			5936			40		50	400	6681
	L							16						16
	M						2		30				2	34
	O		1							554				556
	S										9			9
	T	48	24	8			45					5540	533	6198
	U	37	13	6			93					110	4484	4742
	TOTAL 1976	62525	14455	954	255	401	7131	16	30	679	9	5768	5629	97852

*Arrondi à l'hectare près.

**Voir tableau 2.

TABLEAU 4

CHANGEMENT DANS L'UTILISATION DES TERRES, RÉGION PÉRIURBAINE DE LONDON, 1963-1976*

Classes d'utilisation des terres de l'I.T.C.**		1976											TOTAL
		A	B	E	G	H	K	L	M	O	S	T	U	1963
1963	A	57832	2813	397	41	204	2003		3	271		217	662	64443
	B		8885											8885
	E	9	108	344			101			16			10	586
	G	38	51		200								4	292
	H	1078	105		5	166	46					6	4	1409
	K	2783	1731	63	9	25	3941			126		266	836	9781
	L							9						9
	M						2		16				6	24
	O		1							155				156
	S		8	26							9			42
	T	304	465	92		3	387		11	92		4613	1796	7762
	U	481	289	33		4	65	7		19		666	2311	4462
TOTAL 1976		62525	14455	954	255	401	7131	16	30	679	9	5768	5629	97852

*Arrondi à l'hectare près.

**Voir tableau 2.

qu'aucune de ces catégories de changement (les éléments hors diagonale) ne satisfaisait à cette valeur-seuil. Cela influe sur la détection des changements par échantillonnage (voir ci-dessous). D'autre part, si l'on examine seulement la période de 1970 à 1976, étant donné que plusieurs des changements relativement importants, relevés entre 1963 et 1970 (par exemple, de K à A, de K à B, de A à K), pourraient être dûs à des erreurs de classification, on s'aperçoit que seulement 4.05 % de la superficie totale des terres ont connu un changement quelconque.

En prenant la période de 1963 à 1976, erreurs de classification incluses, on note que, même si la superficie totale ayant connu des changements (tableau 4) représente près de 20 % de la superficie de la région, aucun type particulier de changement n'atteint le niveau de 3 %, bien que les changements de A à B et de K à A s'en approchent de beaucoup. L'utilisation d'une période plus longue augmenterait certainement la probabilité associée à certains types de changement, mais même dans ce cas, le nombre de terres qui connait un changement demeure relativement faible. Si c'est là la nature du changement dans une région urbaine de l'Ontario, combien plus lent sera tout changement dans l'utilisation des terres dans les régions plus rurales au Canada. La difficulté de détecter des secteurs relativement petits, présentant certaines caractéristiques précises d'utilisation des terres (y compris l'utilisation au temps t et (t+1)), est mise en lumière par la nature des données d'utilisation des terres jugées appropriées en 1980, (P.S.U.T.C./A.C., 1980) pour chaque niveau de recensement. Sommairement, ces données sont les suivantes :

a) Données sur la superficie :
   i. superficie selon chaque utilisation des terres,
   ii. changement net dans chaque utilisation,
   iii. changement brut d'une utilisation à une autre (c'est-à dire les éléments hors diagonale des tableaux 2 et 3) et superficies sur lesquelles les utilisations demeurent stables (éléments diagonaux);
b) Composition des utilisations dans une région donnée (c'est-à-dire distribution en % des utilisations des terres) et composition des utilisations et des changements d'utilisation dans toutes les régions;
c) Rapport entre les changements d'utilisation des terres et le potentiel de celles-ci (pour l'agriculture, la faune, les loisirs et la foresterie). Un tel rapport pourrait permettre d'établir une évaluation pour la région ainsi qu'une évaluation de son importance relative (c'est-à- dire proportions, pourcentages);
d) L'établissement de tendances sur plus de deux périodes chronologiques.

Pour les évaluations portant sur des secteurs ayant connu des changements bruts, la taille des échantillons et les coûts d'exploitation nécessaires, pour obtenir un degré de précision donné, peuvent soulever des problèmes considérables. Ces problèmes se compliquent davantage par l'utilisation de filtres supplémentaires (par exemple le potentiel des terres à l'exploitation agricole). Ceci a pour effet d'augmenter le nombre de combinaisons particulières de caractéristiques qui doivent éventuellement

être estimées (voir ci-dessous). Toutefois, il demeure important d'évaluer le rapport entre le changement brut dans les utilisations et la qualité des terres, de même que les simples mouvements entre utilisations. Les données sur le changement net peuvent être intéressantes à un niveau général, mais il peut arriver qu'une utilisation stable, c'est-à-dire importante dans l'occupation des sols en fonction du temps, ait des changements bruts considérables et une situation hautement dynamique. La matrice du tableau 5 illustre cette situation. Elle comporte une aire hypothétique de 100 hectares comprenant les utilisations A, B, C et D, inventoriée en deux occasions séparées par un intervalle de 10 ans.

Dans cette situation hypothétique, 5 % de la superficie totale subit un changement dans l'utilisation du sol. Même si on tient compte des différences dans la distribution totale des utilisations, il semble y avoir eu une redistribution de seulement 2 %. Même avec un système grossier de classification de l'utilisation des terres, la superficie de chaque type de changement brut ne représentera probablement pas une grande proportion de l'unité de recensement (par exemple la région d'utilisation des terres). Ce point soulève donc des problèmes au niveau de l'estimation des superficies en cause (Cochrane, 1963). Il vaudrait peut-être la peine de déterminer si, en présence de certaines circonstances, l'indice de changement significatif à mesurer pourrait être simplement toute terre connaissant un type quelconque de changement (en relation avec le système de classification utilisé).

En supposant que la classification soit exacte, l'inventaire complet des utilisations des terres dans une région élimine ce genre de problèmes. Cela pose toutefois de sérieux obstacles en matière de coûts, notamment pour une région aussi étendue que le Canada rural (l'"écumène" agricole du Canada est d'environ 1.2 million de km^2 tandis que la superficie couverte par l'I.T.C. est de 2.6 millions de km^2). Toutefois, l'echantillonnage permet d'obtenir des coûts moins élevés tout en donnant des renseignements sur l'utilisation et les changements d'affectation des terres. Il existe cependant de nombreuses méthodes d'échantillonnage différentes applicables à l'utilisation des terres, allant de l'échantillon probabiliste à l'échantillon "au jugement." Dans l'échantillon probabiliste, les degrés de précision peuvent être associés à des estimations d'importance et de superficies relatives aux terres par des coefficients de confiance donnés. L'échantillon "au jugement" peut donner une image absolument exacte de la situation, mais sans mesure de fiabilité, en passant par l'inventaire de régions représentatives (de chaque unité de recensement). Ces différentes approches peuvent différer en termes d'acceptabilité selon l'accent mis sur la détermination de la distribution des utilisations nettes ou les configurations de changement. Il n'est cependant pas nécessaire que toutes les utilisations et tous les changements soient mesurés par une même méthode d'échantillonnage, ni même au moyen d'une méthode d'échantillonnage quelconque. Comme nous l'avons déjà mentionné, il peut arriver que certains changements touchent des régions relativement petites tout en ayant une importance considérable du point de vue économique,

TABLEAU 5

SITUATION HYPOTHÉTIQUE DE CHANGEMENT DANS L'UTILISATION DES TERRES*

		Temps (t + 1)				
	Utilisation	A	B	C	D	Superficie totale au temps t
Temps t	A	62.5	+2.5	-	-	65.0
	B	+1.5	22.5	+0.5	+0.5	25.0
	C	-	-	5.0	-	5.0
	D	-	-	-	5.0	5.0
Superficie totale au temps (t + 1)		64.0	25.0	5.5	5.5	100.00
Changement net dans l'utilisation des terres		1.0	0.0	0.5	0.5	2.0
Changement net en fonction de l'ampleur de l'utilisation initiale (%)		-1.54%	0.0%	+10.0%	+10.0%	-

*Hectares

social ou environnemental (par exemple extraction de la pierre). Ces changements sont parfois plus faciles à étudier à l'aide d'autres méthodes. Compte tenu des objectifs du rapport, nous nous concentrerons dans les prochains chapitres, sur le cadre théorique à l'intérieur duquel les diverses méthodes d'échantillonnage peuvent s'inscrire.

4. MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE ARÉOLAIRE - UN CADRE THÉORIQUE

4.1 Comparaison des diverses méthodes d'échantillonnage

Il existe une grande variété de méthodes d'échantillonnage. Les principales différences entre elles se manifestent sur deux plans : a) leur efficacité statistique et b) leur efficacité opérationnelle.

a) Comparaison statistique des méthodes d'échantillonnage

Prenons un ensemble quelconque de données. Comment choisir une méthode d'échantillonnage? Pour répondre à une telle question, un certain nombre de termes doivent être définis, par exemple les termes d'exactitude, de précision, d'exactitude relative, de précision relative et d'efficacité relative. Lorsqu'il s'agit d'évaluer ou d'estimer un paramètre de population (la moyenne véritable d'une population de caractères, le rapport véritable entre les totaux des variables x et y), l'essentiel est la variabilité des estimations tirées d'un échantillon de caractères. Lorsqu'il n'y a pas de variation entre les caractères (entre les points, les cases), l'échantillonnage est un jeu d'enfant! En présence de variations, le tirage répété d'échantillons indépendants du même type donnera une gamme d'estimations. Le degré de variation dans une population est représenté par la variance, ou

$$\sigma^2 = \left(\sum_{i}^{N} (y_i - \bar{Y})^2 \right) \div N$$

où $\bar{Y}$ = la moyenne des N caractères de la population. Les méthodes d'échantillonnage diffèrent dans leur capacité de déceler ou de contrôler cette variation et de réduire les variations possibles (désignées comme l'erreur d'échantillonnage, l'erreur-type ou l'écart-type de la distribution d'échantillonnage de l'estimation) des valeurs, par exemple, de la moyenne de l'échantillon, $\bar{y}$, utilisées pour établir la moyenne de la population, $\bar{Y}$.

L'exactitude désigne l'intensité d'erreur systématique dans la mesure du paramètre réel. Elle est très difficile à déterminer étant donné que ce paramètre n'est habituellement pas connu. Le terme précision renvoie à l'intervalle de variation des résultats ou des estimations obtenus par l'application répétée de la méthode d'échantillonnage. Pour comparer l'efficacité statistique de deux méthodes différentes et pour aider au choix d'une méthode (Berry et Baker, 1968), un certain nombre de critères

différents peuvent être utilisés (Yates, 1965):

Exactitude relative : rapport des variances d'échantillonnage des estimations de deux échantillons.

Précision relative : rapport des variances d'échantillonnage des estimations de deux échantillons établies à l'aide de méthodes différentes, mais avec le même nombre et le même type d'unités d'échantillonnage.

Efficacité relative : rapport du nombre d'unités d'échantillonnage nécessaire à l'obtention d'un degré de précision donné par deux méthodes d'échantillonnage différentes.

Soulignons que l'efficacité relative, en termes du nombre d'unités d'échantillonnage nécessaire, présuppose une égalité de coûts pour la collecte des données par unité d'échantillonnage pour chaque méthode. Dans la mesure où cela n'est pas le cas, il faut également tenir compte de l'efficacité opérationnelle.

b) Efficacité opérationnelle

En évaluant les frais entraînés par les différentes méthodes, il est possible, théoriquement, d'en choisir une qui permette d'atteindre un degré de précision donné au moindre coût. Il y a bien sûr d'autres aspects de l'efficacité opérationnelle qui peuvent venir compliquer ce choix. Il arrive qu'il soit possible d'obtenir une classification plus exacte avec un échantillon par points qu'avec un échantillon aréolaire, grâce à une plus grande complication de la méthode. L'évaluation des coûts demeure toujours une question délicate de nos jours car les méthodes de collecte de données évoluent rapidement (imagerie satellite et interprétation automatisée). Pourtant, elle revêt une importance capitale dans un programme de surveillance à long terme.

Dans le contexte d'un programme de surveillance basé sur l'échantillonnage, on peut noter quatre grandes questions qui peuvent servir à caractériser toute méthode d'échantillonnage aréolaire particulière : a) échantillonnage aléatoire ou échantillonnage systématique; b) échantillonnage stratifié ou échantillonnage non stratifié, y compris l'étendue de l'échantillonnage dans différents domaines; c) forme de l'unité d'échantillonnage aréolaire utilisée; et d) rapport entre les échantillons au temps t et au temps (t+1) dans la détection des changements. Chacun de ces aspects est brièvement analysé ci-dessous en termes d'efficacité statistique, ainsi qu'en fonction des problèmes opérationnels soulevés par l'échantillonnage à partir de données de télédétection. Consacrons d'abord un bref chapitre à la question des variations dans la distribution de l'utilisation des terres.

4.2 Variations dans la distribution et les changements de l'utilisation des terres

Il est important d'établir une distinction entre une unité spatiale élémentaire (un point) et les grappes composées d'un ensemble de ces unités élémentaires (une case ou une unité administrative). Cela détermine la nature de la variable mesurée. Avec des points, la détermination de l'utilisation d'un sol est normalement une variable qualitative (c'est-à-dire une variable mesurée sur une échelle nominale), tandis qu'avec des grappes, il s'agit d'une variable quantitative (le pourcentage ou la proportion de la superficie d'une case ou d'unités d'échantillonnage du deuxième degré fait l'objet d'une utilisation particulière). Dans chaque cas, la composition de l'utilisation des terres et la superficie des utilisations et des changements peuvent théoriquement être évaluées, mais le choix de la taille de la grappe est d'une importance capitale (voir ci-dessous).

Quelle est l'ampleur de la variabilité qui existe au sein de la population, dans une carte contenant les distributions de plusieurs utilisations et changements d'utilisation des terres, et comment est-elle reliée à la méthode d'échantillonnage? Trois aspects peuvent être pris en ligne de compte.

a) L'ampleur (tant en termes de superficie qu'en termes de pourcentage de la superficie totale) d'une catégorie d'utilisation ou de changement spécifique. Cette ampleur influence la taille de l'échantillon dans la détection de la proportion de la superficie totale, et de la superficie qui connaît un type particulier de changement. L'ampleur relative d'une catégorie d'utilisation ou de changement n'est pas indépendante de la superficie de la région à l'étude (par exemple, les dimensions d'une unité recensée). En présence d'une autocorrélation spatiale positive pour des catégories particulières et de différences spatiales entre les différentes catégories, on peut s'attendre à ce qu'il y ait dans une unité de recensement particulière, un éventail de catégories moins étendu que dans un ensemble de telles unités (le comté par opposition à la province). Ainsi, l'importance de certaines catégories dans une petite unité peut être plus prononcée que dans une zone d'étude plus globale.

b) La configuration ou la distribution spatiale du phénomène (la configuration est-elle en grappes/en groupes, dispersée/uniforme, aléatoire, linéaire ou périodique?). Le choix d'une méthode dépend fortement du type de distribution (Berry et Baker, 1968). "Si la distribution sous-jacente n'a aucune configuration précise, il semble que l'on puisse choisir n'importe quel plan d'enquête" (Taylor, 1977).

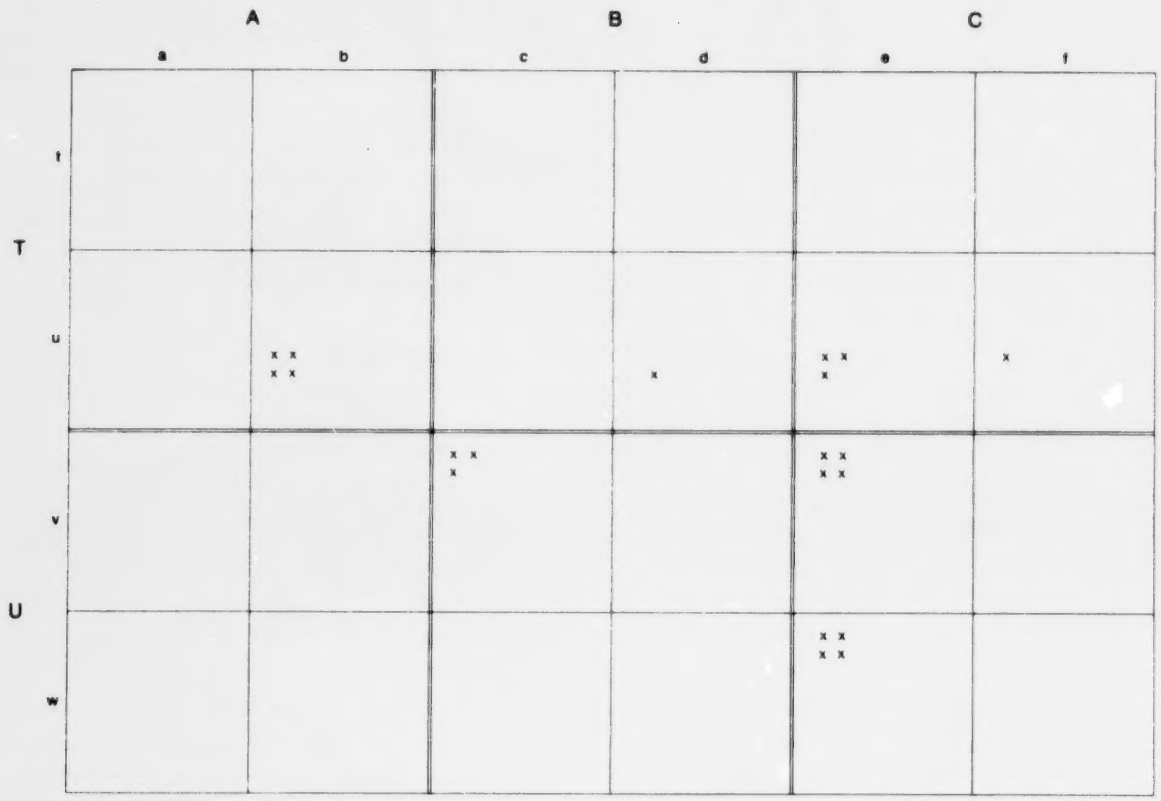
Le type de configuration est important pour toute forme d'échantillonnage en grappes, car il influe sur la variabilité entre les unités d'échantillonnage, donc sur la taille de l'échantillon. Il peut également influer sur la pertinence de procéder ou non à la stratification, et même sur la pertinence de détecter la configuration

dans le contexte d'un échantillonnage à objectifs multiples. Lorsque les unités d'échantillonnage sont effectivement des grappes, la taille de l'unité influe sur la variabilité. Prenons par exemple une configuration en groupes échantillonnée au moyen de cases (grappes d'unités d'échantillonnage élémentaires, soit quelques hectares de terrain). Lorsque les cases ou les grappes utilisées deviennent plus grandes que chaque groupe ou concentration d'utilisation des terres individuelles dans la configuration, la variance dans la population décroît jusqu'à un certain point.

La figure 1 illustre la distribution d'une utilisation des terres échantillonnée au moyen de deux grilles de dimensions différentes. L'une comporte 24 petites cases et l'autre, 6 grosses cases. Les variances et les écarts types estimés au moyen de ces deux niveaux de groupement sont donnés au tableau 6. On voit qu'avec le découpage le plus fin, la variance est plus de 5 fois supérieure à celle du découpage grossier. La taille des cases a aussi une grande influence sur toute recherche visant à examiner les rapports entre deux phénomènes, dont chacun est spatialement autocorrélé. En augmentant les dimensions de la case, advenant la présence d'une corrélation, la corrélation estimée augmentera jusqu'à un certain niveau, étant donné que les termes idiosyncratiques ou les perturbations aléatoires s'annulent l'un l'autre (Taylor, 1977).

La réduction de la variance, associée à l'augmentation de la taille des cases, est reliée au fait que chaque case ou grappe devient plus représentative de la population totale, ce qui est d'ailleurs sa fonction. En présence d'une distribution géographique passablement uniforme et de quelques perturbations aléatoires, l'augmentation de la taille des cases n'influera plus de façon prononcée sur la variance lorsqu'elle aura atteint un certain seuil. Une distribution parfaitement uniforme finit par donner une variance de zéro lorsqu'on utilise une case, un filtre, ou une échelle de dimensions appropriées. Il est intéressant d'examiner l'analyse des données de l'I.T.C., effectuée par la Direction générale des terres pour la région de l'Ontario, qui fait appel à une grille dont la taille des cases varie de (2 X 2) km^2 à (16 X 16) km^2 à raison de 8 échelons différents (figure 2). En termes de pourcentage, les cultures de plein champ (utilisation A) affichent une variance très stable. Cette variance demeure relativement intacte parce que la concentration des utilisations, tout en étant considérable du point de vue spatial, varie beaucoup géographiquement (tendances géographiques générales) au lieu d'être du type disséminé comme dans les configurations en grappes. Au contraire, la réduction prononcée des variances observées dans les secteurs habités (utilisation B), les mines, carrières, sablières et gravières (utilisation E), est attribuable à la

FIGURE 1: DISTRIBUTION D'UNE UTILISATION "PONCTUELLE" DES TERRES DANS UNE RÉGION†



† 20 'points', dont chacun représente 5% (5ha) de la superficie de la case la plus petite et 1.25% de la superficie de la case la plus grande. Les variables, x, utilisées pour le calcul des moyennes, des variances et des écarts types donnés au tableau 6 sont donc le pourcentage de chaque case occupé par l'utilisation considérée à chacun des niveaux de groupement (p. ex. à l'échelle la plus petite, x_{ub}=20%; à l'échelle la plus grande, x_{TA}=5%).

TABLEAU 6

VARIANCES POUR UNE UTILISATION DES TERRES SELON DIVERSES TAILLES DES CASES*

N = 24 cases

$\bar{X}$ = 4.17%

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N=24} (x_i - \bar{X})^2}{N} = 53.3$$

σ = 7.3 %

N = 6 cases

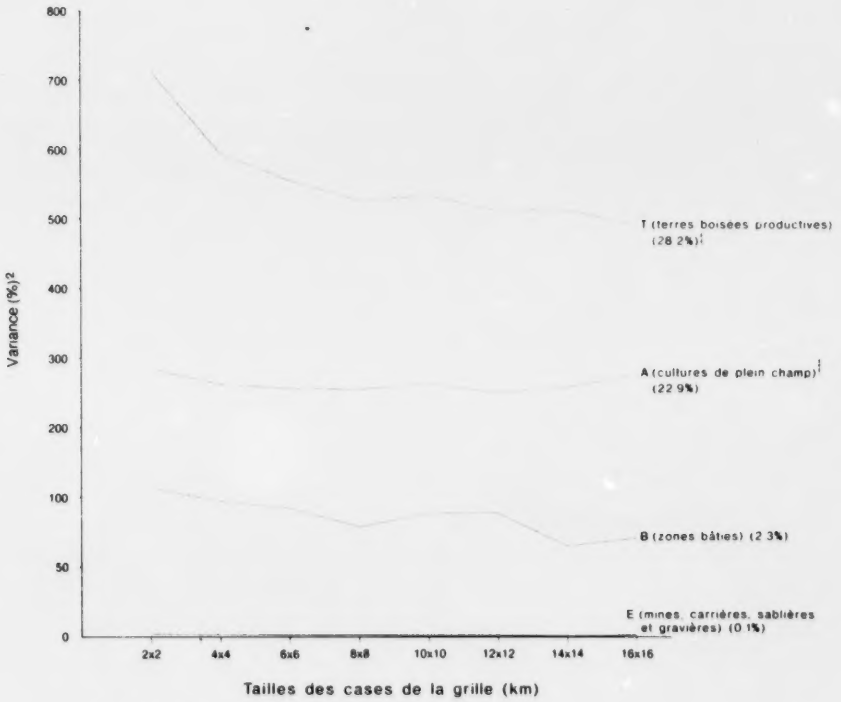
$\bar{X}$ = 4.17%

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N=6} (x_i - \bar{X})^2}{N} = 10.24$$

σ = 3.2 %

*Les variances concernent la distribution ponctuelle et les tailles de cases dont il est question à la figure 1.

FIGURE 2: VARIANCES POUR DIVERSES UTILISATIONS DES TERRES CHOISIES SELON DIFFÉRENTES TAILLES DE CASE†



† Données tirées de l'étude sur la région de l'Ontario (Bircham, 1979)

‡ Les pourcentages représentent la proportion de la superficie totale de la région étudiée par Bircham classée sous chaque utilisation particulière

¦ Ne comprend pas les classes 'pâturages amendés' et 'cultures fourragères'

distribution groupée de ces utilisations. Enfin, les terres boisées productives (utilisation T) présentent une chute marquée de la variance pour les cases de (2 X 2) km^2 à (4 X 4) km^2. Cette réduction s'atténue relativement par la suite. On peut expliquer ce phénomène par le fait que la deuxième taille de case utilisée a réduit l'effet de nombreuses grappes d'échelle relativement petite, et que par la suite, la réduction de la variance est devenue moins grande, étant donné que la configuration résulte des variations régionales globales dans la couverture des terres boisées.

Il est évident que la distribution de la population a une importance capitale. Souvent, un échantillon d'unités, dont chacune est composée de plusieurs unités d'échantillonnage élémentaires géographiquement adjacentes, ne sera pas aussi efficace qu'un échantillon composé d'unités élémentaires originales (le même nombre d'unités d'échantillonnage élémentaires étant utilisé dans chaque échantillon), parce que le groupement géographique est constitué d'unités semblables (Yates, 1965). Bien sûr, il peut y avoir d'autres raisons plus convaincantes en faveur de l'utilisation des grappes d'échantillonnage.

c) Finalement, <u>la variété des changements et des utilisations</u> pose des problèmes pour l'élaboration d'une méthode d'échantillonnage qui permette d'utiliser de nombreuses valeurs estimées différentes. Bien qu'il soit relativement facile, dans le cadre de nombreuses méthodes d'échantillonnage, de choisir une taille minimale d'échantillon en fonction d'un degré de précision donné, on fait face à de gros ennuis lorsqu'on est intéressé par plusieurs distributions (Yates, 1965). En d'autres mots, un échantillon d'une taille et d'un type donnés peut donner des erreurs types (voir la définition ci-dessous) totalement différentes, pour les valeurs estimées de différentes caractéristiques des unités d'échantillonnage. Il se peut qu'il faille porter attention aux utilisations et aux changements considérés comme <u>critiques</u>, et ce genre de décision est plus facile à prendre lorsqu'il y a de très fortes inter-corrélations entre les différentes utilisations.

Toutefois, des problèmes peuvent encore se poser lorsqu'il y a une variation substantielle dans l'importance des différentes utilisations ou des différents changements. En particulier, les utilisations ou les changements relativement insignifiants (en termes de superficie), mais qui peuvent être <u>très</u> importants du point de vue économique ou environnemental, soulèvent un problème majeur en matière de méthode d'échantillonnage à objectifs multiples. S'il faut obtenir des estimations relativement précises de ces utilisations, il se peut qu'il faille choisir une méthode de collecte de données différente. Lorsque l'unité de recensement est constituée d'unités administratives, il peut être très simple d'acquérir une liste de toutes les instances d'une utilisation donnée (par exemple gravières, institutions

d'enseignement) à partir desquelles on peut faire un inventaire ou entreprendre un échantillonnage. Alors est-il possible et plus judicieux d'échantillonner en fonction de certaines utilisations ou de certains changements "majeurs" ("majeurs" en termes de l'importance de l'utilisation des terres) à partir d'une source d'information, et d'utiliser une autre source pour établir des estimations pour les autres utilisations. Parfois, une telle distinction peut être appropriée, non seulement à cause des différences dans l'importance de l'utilisation des terres, mais aussi à cause des différences dans le degré de détail du système de classification. L'importance relative et la superficie du secteur habité ou des utilisations à caractère urbain peuvent être facilement estimées à l'aide de certaines méthodes d'échantillonnage s'appuyant sur des données de télédétection. Par contre, s'il s'agit de localiser des écoles, il est ridicule (comme le souligne Bruijn (1979)) de gaspiller ce temps précieux pour essayer de détecter une école à partir de données de télédétection. D'autres sources permettent d'obtenir ces renseignements plus facilement et plus rapidement, et d'avoir une image plus exacte de l'utilisation en question.

4.3 Quatre façons de caractériser les méthodes d'échantillonnage aréolaire

L'application répétée de la même méthode d'échantillonnage donne une distribution d'échantillonnage de l'estimation particulière considérée. La taille de l'échantillon et le type de méthode adoptés déterminent le degré de précision. Une fois qu'une distribution d'échantillonnage peut être déterminée, il est possible d'estimer les tailles d'échantillons nécessaires pour obtenir les degrés de précision désirés. La difficulté est que, pour certaines méthodes, la distribution d'échantillonnage peut être obtenue très facilement, tandis que pour d'autres, ce n'est pas le cas (par exemple avec les échantillons aréolaires systématiques (Yates, 1965).

4.3.1 Échantillons aléatoires/échantillons systématiques

Il convient de donner ici un bref aperçu de ce qu'est un échantillon aléatoire simple (Yamane, 1967; Cochran, 1963; Yates, 1965). L'échantillon aléatoire simple avec choix indépendant des unités d'échantillonnage et probabilités de choix égaux donne une base qui permet de comparer les autres méthodes. La moyenne ($\bar{y}$) d'un échantillon de taille n est une valeur estimée sans biais de $\bar{Y}$; en présence d'une grosse population, la variance de la valeur estimée de la moyenne, dans la population, d'une variable quantitative est simplement :

$$V(\bar{y}) = \frac{\sigma^2}{n}$$

et l'erreur type ou l'erreur d'échantillonnage est :

$$E.T.(\bar{y}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

En présence d'une population finie, l'erreur type ($\bar{y}$) devient

$$\sigma \cdot \sqrt{(1-f) \div n}$$

où $f = \frac{n}{N}$ et N est le nombre total d'unités d'échantillonnage dans la population. En présence d'une population distribuée normalement, ou de "gros" échantillons tirés d'une population non normale, la distribution d'échantillonnage de la moyenne sera normale, ce qui est important, car cela permet d'utiliser la distribution normale dans la détermination des limites de confiance et dans le choix de la taille de l'échantillon selon les degrés d'erreur requis.

Il est donc permis d'affirmer qu'en tirant de façon répétitive un échantillon de taille n, 95 % des estimations s'inscriront dans l'intervalle $\bar{Y} \pm 1.96$ d'erreur type $(\bar{y})$. En d'autres mots, $\bar{y}$ se situera dans l'intervalle $(\bar{Y} - 1.96$ E.T. $(\bar{y}))$ et $(\bar{Y} + 1.96$ E.T. $(\bar{y}))$ à un niveau de confiance de 95 %. Étant donné que le paramètre de population, $\bar{Y}$, est normalement inconnu, cette affirmation algébrique peut être reformulée de la façon suivante :

$$\bar{y} - 1.96 \text{ E.T.}(\bar{y}) < \bar{Y} < \bar{y} + 1.96 \text{ E.T.}(\bar{y})$$

à un niveau de confiance de 95 %.

Si l'on désire trouver une valeur particulière de E.T. $(\bar{y})$, il suffit de préciser la taille d'échantillon nécessaire pour atteindre un degré de précision donné, à condition de pouvoir estimer la variance de population.

Ainsi, avec une E.T. $(\bar{Y}) = \sigma \div \sqrt{n}$ ou sa valeur estimée, $s \div \sqrt{n}$, où s est un écart type d'échantillon avec un dénominateur (n-1), alors

$$n = \frac{s^2}{(\text{E.T. requise } (\bar{y}))^2}$$

Avec un niveau de confiance de 95%, un échantillon de taille n permet donc d'établir une moyenne véritable, $\bar{Y}$, située dans l'intervalle $\bar{y} \pm 1.96$ (E.T. requise $(\bar{y})$). L'erreur type $(\bar{y})$ est exprimée en fonction des mesures originales (en pourcentage, en acres ou en revenus en dollars); il est souvent plus utile de définir le degré de précision en termes de moyenne ou de valeur moyenne du caractère considéré. Ainsi, l'erreur type $(\bar{y})$ peut être exprimée en pourcentage de la moyenne et donner le coefficient de variation ou

$$\% \text{ E.T.}(\bar{y}) = 100 \cdot \frac{\text{E.T. } (\bar{y})}{\bar{y}}$$

$$\text{ou} \qquad 100 \cdot \frac{s}{\bar{y}} \div \sqrt{n}$$

Par conséquent, si l'erreur type $(\bar{y}) = 50$ acres et $\bar{y} = 200$ acres, l'erreur type en pourcentage = 100(50 ÷ 200) = 25 % de la moyenne; 95 % des valeurs estimées de l'échantillon devraient alors se situer entre $\bar{y} \pm 98$ acres ou entre ± 1.96 (pourcentage E.T.) de la moyenne réelle, soit en deçà de 49 %, au-dessus ou au-dessous de la valeur de la moyenne réelle. La taille d'échantillon appropriée pour atteindre un degré de précision donné en termes de pourcentage d'erreur type est simplement :

$$n = \frac{\sigma^2}{\bar{y}^2} \div \left| \frac{\text{E. T. requise } \% \ (\bar{y})}{100} \right|^2$$

Si l'erreur maximale admissible (E.M.A.) au niveau de confiance requis (disons 95 %) est précisée, disons 5 % de la moyenne, il est alors possible de la convertir facilement en pourcentage d'erreur type ($\bar{y}$) en divisant (E.M.A. par $Z\alpha$) où $Z\alpha$ est la variable normale réduite au niveau de confiance donné α ; le pourcentage d'erreur type ($\bar{y}$) égale 2.6 % dans ce cas. Un facteur de correction pour une population finie peut être appliqué au besoin.

Avec une variable qualitative (un attribut, par exemple l'utilisation A, l'utilisation B), des formules similaires peuvent être appliquées. En termes de distribution d'échantillonnage de la proportion p d'unités ayant un attribut particulier comme une valeur estimée de la proportion P de la population (Q = 1 - P), la variance de p est $\frac{PQ}{n}$ avec P moyen et l'écart type $\sqrt{PQ \div n}$ où n est le nombre d'unités dans un gros échantillon. L'erreur type (p) est habituellement donnée par $\sqrt{pq \div n}$. Comme dans le cas d'une variable quantitative, où l'approximation normale peut être utilisée, la taille de l'échantillon peut être estimée pour une erreur type (p) précise, bien que cela ne soit pas recommandé lorsque p (ou q) est petit. Par conséquent,

$$(\text{E.T. } (p))^2 = \frac{pq}{n}$$

et

$$n = \frac{pq}{(\text{E.T. requise } (p))^2}$$

De la même façon, si l'on désire obtenir un degré de précision donné, exprimé en pourcentage de la vraie valeur (soit une proportion ou le nombre d'unités possédant l'attribut recherché), le pourcentage d'E.T. (p) peut être défini comme suit

$$\% \text{ E.T. } (p) = \frac{100\sqrt{pq \div n}}{P}$$

ce qui donne

$$n = \frac{10{,}000\ q}{p\ (\% \text{ E.T. requise})^2}$$

Encore une fois, si l'erreur maximale admissible (E.M.A.) à un niveau de confiance donné α est précisée, il suffit de procéder à la conversion en pourcentage d'E.T. en divisant l'E.M.A. par $Z\alpha$. Ici aussi le facteur de correction pour une population finie peut être appliqué, en multipliant la valeur de n obtenue à l'aide de la formule donnée ci-dessus par,

$$1 \div \left(1 + \frac{n}{N}\right)$$

pour réduire ainsi la taille de l'échantillon.

Soulignons certaines des implications de ces quelques remarques :

a) Plus la variance dans la population est importante, plus la valeur de n nécessaire pour atteindre un degré de précision donné (E.T. ($\bar{y}$) ou (p)) est élevée.

b) Plus l'erreur type requise est importante, plus l'échantillon doit être petit.

c) Pour une variable qualitative, la valeur de n pour une E.T. donnée est à son maximum lorsque p = q = 0.5. La valeur maximale de pq peut alors être utilisée pour établir des estimations très modérées (surestimations) de la taille des échantillons (Yamane, 1967) à l'aide de formules simples. Comme n est à son maximum lorsque p = 0.5, on peut affirmer que les utilisations des terres, dont l'ampleur est relativement faible, peuvent être déterminées à l'aide d'échantillons passablement petits.

d) Toutefois, en termes du pourcentage d'E.T., il est clair que, pour un pourcentage d' E.T. donné ou une E.M.A. donnée (égale à z_{α}·pourcentage d'E.T. dans tous les cas), un petit p, ou un petit $\bar{y}$, nécessite des échantillons relativement importants. Ceci vient appuyer l'affirmation mentionnée précédement au chapitre 4. Le coût élevé provient de l'utilisation d'échantillons à objectifs multiples, pour estimer la proportion ou le nombre d'unités possédant un attribut quelconque, avec un pourcentage donné de la vraie valeur du paramètre lorsque l'attribut est peu fréquent. C'est dans de telles conditions, que la possibilité de puiser à d'autres sources d'information, pour obtenir les renseignements nécessaires sur ces caractéristiques, doit être envisagée.

Les échantillons aléatoires simples, bien qu'ils aient le grand avantage de faciliter le calcul des erreurs d'échantillonnage, présentent cependant de graves inconvénients opérationnels :

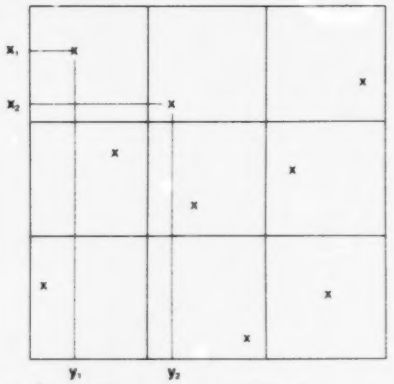
a) Des ensembles extrêmes d'unités d'échantillonnage peuvent être choisis, entraînant une dissémination importante des estimations possibles ou un degré de précision relativement faible;

b) Certains sous-ensembles de la population peuvent également être insuffisamment couverts;

c) Les coûts entraînés par le choix d'un tel échantillon peuvent être élevés, si, par exemple, les unités d'échantillonnage sont réparties inégalement et de façon déconcentrée. Si on utilise des photographies aériennes traditionnelles, l'utilisation d'un ensemble aléatoire de points ou de cases dans une région peut se traduire par des coûts unitaires d'acquisition de données très inégaux d'une unité d'échantillonnage à l'autre.

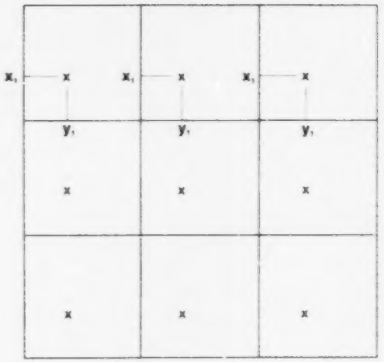
Les échantillons systématiques diffèrent considérablement des échantillons aléatoires simples. Ils demeurent des objectifs statistiques et ne sont pas diamétralement opposés aux échantillons aléatoires, comme le seraient des échantillons de jugement. Les échantillons systématiques sont très simples à utiliser puisqu'une fois l'unité d'échantillonnage initiale choisie (ce qui peut être fait au hasard) dans une base donnée (une liste ou, dans le cas qui nous intéresse, une aire à 2 dimensions), le reste des unités d'échantillonnage est prédéterminé, même dans le cas d'un échantillon systématique non aligné (Berry et Baker, 1968) (figure 3). Le choix des unités d'échantillonnage n'est donc pas indépendant. Par ailleurs, l'ensemble d'unités qui

FIGURE 3: DIVERS TYPES DE MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE PAR POINTS



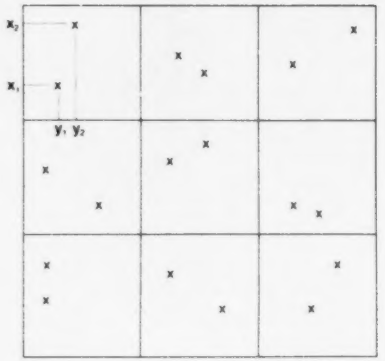
a Échantillon aléatoire simple

Répartition de 9 points par le tirage au sort des coordonnées x, y



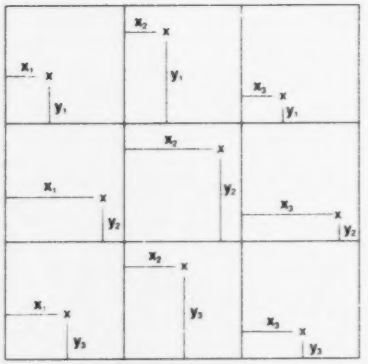
b Échantillon systématique (stratification géographique, un point étant choisi systématiquement dans chaque case)

Tirage au sort du premier point et utilisation des mêmes coordonnées dans les cases restantes.



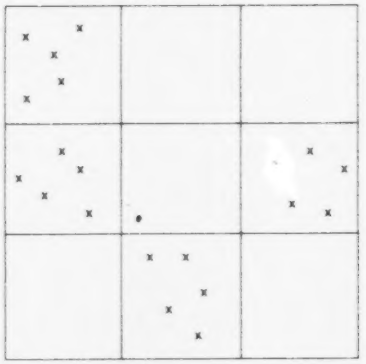
c Échantillon stratifié

Deux points choisis au hasard dans chaque strate (case)



d Échantillon stratifié systématique non aligné

Une coordonnée aléatoire pour chaque rangée de cases (strate) définit la coordonnée y dans chaque rangée; une autre définit la coordonnée x dans chaque colonne



e Échantillon par grappes à deux degrés

Ici, les grappes (cases) sont choisies au hasard, de même que les points dans chaque grappe. Les grappes peuvent être choisies systématiquement, tout comme les points qu'elles contiennent.

constituent l'échantillon systématique peut être considéré comme une grappe d'unités d'échantillonnage. Si l'unité de départ a été choisie au hasard, alors l'échantillon systématique peut être considéré comme un échantillon aléatoire simple d'une grappe, tiré de toutes les grappes possibles en vertu de la méthode adoptée.

Il reste quand même très difficile d'estimer les erreurs dans un échantillon systématique, à moins de le faire expérimentalement (Frazier et Shovic, 1980; Yates, 1965; Cochran, 1963; Norway Central Bureau of Statistics, 1980).

En étant bien prudent, il est possible de traiter un échantillon systématique comme un échantillon aléatoire simple; cela est le cas en tout temps lorsque la population est ordonnée au hasard sur une étude de base; l'échantillonnage systématique peut alors être entrepris simplement par commodité. Toutefois, dans un échantillon aréolaire, où il peut y avoir certaines autocorrélations spatiales positives reliées au phénomène étudié, l'échantillonnage systématique d'emplacements ponctuels pourrait donner une gamme de valeurs estimées plus étroite que dans une méthode aléatoire simple. Pour cela, il faut cependant que l'échantillon systématique soit une "bonne" grappe, c'est-à-dire qu'il doit être hétérogène. Certains types de population peuvent donc poser des problèmes (par exemple une population présentant des périodicités qui peuvent être saisies indistinctement par l'échantillon systématique). Le problème fondamental posé par la comparaison entre l'échantillon systématique et l'échantillon aléatoire simple (ou, encore, l'échantillon aléatoire stratifié) est que leur efficacité relative dépend fortement de la forme de distribution de la population dans l'enquête, même si, expérimentalement, les échantillons systématiques semblent donner des résultats plus précis que les échantillons aléatoires simples et stratifiés en présence de conditions variées. Généralement, lorsqu'il est possible d'obtenir des valeurs estimées de l'erreur inhérente aux échantillons systématiques, les valeurs obtenues sont supérieures à la valeur réelle des erreurs en cause.

Cependant, l'échantillon systématique n'a pas que des inconvénients. Son application simple et sa bonne couverture, lorsque la population de la base est ordonnée, en font un instrument avantageux. Dans un échantillonnage aréolaire, l'échantillon systématique non aligné est très apprécié par de nombreux chercheurs pour sa précision (Cochran, 1963; Berry et Baker, 1968; Taylor, 1977). Dans son célèbre mémoire sur l'échantillonnage en matière d'utilisation des terres (1962), mémoire qui s'appuie sur un texte antérieur publié par Wood (1955) et sur des données statistiques de Ouenouille (1949) et Cochran (1953), Berry conclut, après un certain nombre de tests empiriques, que l'échantillon non aligné systématique stratifié est le plus approprié car il combine des éléments aréolaires, aléatoires et systématiques. Bien que cette conclusion soit souvent citée, ces résultats empiriques ne semblent pas tout à fait aussi concluants. Dans le premier exemple, celui du ruisseau Coon, basé sur un point d'échantillonnage aux 10 acres, l'échantillon non aligné était clairement supérieur aux échantillons aléatoire, aléatoire stratifié et transversal systématique. Toutefois, dans le cas de Montfort, l'espacement des points est de 1

par 160 acres, l'échantillon non aligné avait une supériorité marginale. Des travaux plus récents apportent d'autres arguments en faveur de l'échantillon non aligné systématique stratifié, sans toutefois être concluants (Fitzpatrick-Lins, 1981; Frazier et Shovic, 1980; Dickinson et Shaw, 1977).

En pratique, on utilise la photographie aérienne traditionnelle comme source de données, mais le fait de vouloir une vaste couverture géographique dans un échantillon systématique entraînerait des coûts excessifs au titre de l'acquisition des données brutes. Il demeure possible, cependant, de procéder à un échantillon systématique de deuxième degré à partir des grappes établies d'après un échantillon de premier degré; on peut aussi avoir recours à des sources de données autres que la photographie aérienne.

4.3.2 Stratification/non stratification

La stratification consiste à subdiviser la population en différentes strates en fonction d'une ou plusieurs caractéristiques. Cette subdivision est normalement faite avant le choix de l'échantillon, bien qu'elle puisse être entreprise après le choix des unités d'échantillonnage. Il y a deux grandes raisons de procéder à la stratification :

a) L'obtention d'une estimation plus précise des paramètres considérés. Généralement, lorsqu'il est bien appliqué, un plan d'échantillon stratifié donne une estimation plus précise du caractère étudié qu'un échantillon aléatoire simple de même taille; ainsi, pour un degré de précision donné, un plan d'échantillon stratifié nécessite un échantillon de taille plus petite (et donc de moindre coût) qu'un échantillonnage aléatoire simple (Frazier et Shovic, 1980). Le but de la stratification, dans ce cas, est de réduire les erreurs d'échantillonnage des estimations et de produire des strates aussi homogènes que possible (c'est-à-dire, les variances internes sont maintenues au minimum). Le tirage, dans chaque strate, d'échantillons aléatoires de taille proportionnelle à celle de la strate élimine évidemment la possibilité de prendre certains des ensembles extrêmes d'unités d'échantillonnage offerts par l'échantillon aléatoire simple. Dans la mesure où les différences entre les strates ne sont pas maximisées, les différences entre l'échantillon aléatoire stratifié et l'échantillon aléatoire simple sont réduites. Si la variance à l'intérieur de chaque strate n'est pas identique, la répartition optimale des unités entre les strates nécessitera une augmentation de la taille de l'échantillon dans les strates affichant d'importantes variances et vice versa, les fractions d'échantillonnage étant proportionnelles à l'écart type dans chaque strate (Yates, 1965; Norway Central Bureau of Statistics, 1980). Enfin, les coûts du tirage des échantillons dans les différentes strates peuvent varier, ce qui fait qu'un plus grand nombre d'unités est tiré dans les strates dont les coûts sont inférieurs.

La stratification présente deux aspects importants : i) le choix des facteurs de stratification et ii) la délimitation des strates.

i) Le choix du ou des facteurs de stratification.

Dans une analyse, la Direction générale des terres (Bircham, 1979) compare un critère "écologique" (analogue aux écorégions), un critère relié au potentiel des terres pour l'agriculture et le critère d'utilisation des terres. Ce dernier est apparu comme le facteur de stratification le plus efficace pour réduire les besoins en échantillons pour l'évaluation de l'utilisation des terres. Le rapport entre, d'une part, le potentiel des terres pour l'agriculture et les écorégions et, d'autre part, l'utilisation des terres, a peu de chance d'être un rapport direct à cause des diverses variables socio-économiques qui entrent en jeu. Les écorégions définies pour l'Alberta, (Strong et Leggat, 1981), reposent en très grande partie sur les caractéristiques physiques; végétation, sol et humidité, et ne tiennent pas compte des facteurs socio-économiques, comme l'accès aux moyens de transport ou la structure agricole. Le lien entre n'importe lequel de ces critères de stratification et le changement d'utilisation des terres n'a été analysé dans aucun cas. Même lorsqu'on a le choix d'un critère de stratification, la délimitation des limites entre les strates est très importante et les possibilités d'analyse sont très vastes, sans compter les autres possibilités concernant le rapport entre les strates et les valeurs estimées des paramètres de population. Lorsque l'intérêt porte sur de nombreuses utilisations des terres et que les processus influant sur le changement d'utilisation sont multiples, il devient plus difficile d'établir des strates qui répondent efficacement à tous ces besoins (Holmes, 1967).

La stratification géographique est un type de stratification passablement évident et simple; selon la nature de la population et l'échelle de l'unité d'échantillonnage, l'impact de ce type de stratification peut être très minime ou très important. En présence d'autocorrélations spatiales positives importantes, les avantages à en tirer peuvent être considérables; dans un autre contexte, cela peut être différent. Lorsque les strates géographiques sont définies par les cases d'une grille, les dimensions du filtre posent encore une fois des problèmes, étant donné qu'à une échelle quelconque, les cases peuvent constituer des strates satisfaisantes (c'est-à-dire relativement homogènes), tandis qu'à une autre échelle, elles constituent plutôt de bonnes grappes (c'est-à-dire qu'elles sont hétérogènes, avec d'importantes variances internes).

Au moment de préciser les limites géographiques exactes des strates, quel que soit le critère utilisé comme facteur de stratification, il serait bon de voir s'il est possible de les définir à partir de groupements d'unités administratives (par exemple les comtés) pour lesquels il existe souvent d'autres sources de données. Il serait possible d'élaborer des facteurs de stratification à partir des données de

recensement (comme c'est le cas dans l'enquête énumérative sur l'agriculture de Statistique Canada), ainsi qu'à partir d'autres données cartographiées. Cet avantage vient donc s'ajouter à celui qu'ont les strates de permettre une plus grande précision. On emploie couramment les écorégions comme strates, mais leur utilisation est faiblement pertinente (par exemple Strong et Leggat, 1981). Toutefois, certaines des variables pourraient être incorporées d'une façon ou d'une autre pour les unités administratives si un lien entre celles-ci et les changements dans l'utilisation des terres pouvait être établi, justifiant ainsi leur utilisation dans la procédure de stratification. L'utilisation des limites administratives n'empêche pas d'utiliser efficacement l'échantillon par case (segment, grappe) pour détecter les changements dans l'utilisation des terres.

ii) La délimitation des strates.

Il s'agit ici de déterminer quelles règles, statistiques ou autres, doivent être utilisées pour différencier les strates l'une de l'autre. La division entre les strates pourrait être définie par le point auquel les différences inter-strates sont maximisées; cela peut toutefois se révéler un point de référence difficile lorsque le nombre de critères de stratification augmente.

b) Un autre motif présidant à la stratification est d'assurer une bonne couverture de la population, pas nécessairement pour réduire la variation dans les estimations, mais pour établir ces estimations pour chaque strate à titre de domaine d'intérêt. Bien que les strates puissent être définies en fonction de n'importe quel type de caractéristiques, une approche géographique de base consiste à établir des estimations pour des unités recensées particulières, comme des provinces ou des régions d'utilisation des terres dans l'ensemble du pays. Le point important à souligner est que, avec k subdivisions (strates ou aires géographiques), "si l'on désire obtenir les valeurs estimées de variance V pour chacune des k subdivisions, la taille de l'échantillon doit être à peu près k fois celle qui est nécessaire pour une estimation globale de même précision." (Cochran, 1963). Cela est confirmé par les chiffres établis par la Direction générale des terres pour le nombre d'échantillons nécessaires selon les diverses échelles de recensement (Bircham, 1979).

À l'heure actuelle, la Direction générale des terres s'efforce surtout d'établir des estimations sur les changements aux niveaux provincial et national. C'est pourquoi le principal rôle de toute stratification devrait être d'établir des estimations plus précises au niveau provincial, puis national. Toutefois, il est important de répéter ce que nous avons déjà dit plus haut, à savoir si la Direction générale des terres ou tout autre usager pourrait un jour être davantage intéressé par une échelle de recensement plus petite. Il est possible de passer ainsi d'une échelle à l'autre, comme le fait Statistique Canada pour les utilisations des terres agricoles et d'autres caractéristiques

connexes. Il est donc important que le système de surveillance adopté soit assez souple. Par ailleurs, il faut prendre soin de définir des strates qui peuvent être intégrées facilement dans des unités de recensement de niveau inférieur, soit par groupement ou division des zones géographiques représentant chaque strate.

4.3.3 Forme de l'unité d'échantillonnage dans un échantillon aréolaire

Il y a trois types d'unités d'échantillonnage aréolaire : le point, la case (pas nécessairement dans une grille) et la ligne. Les deux premiers ont déjà été présentés ci-dessus.

L'échantillon par points est probablement la façon la plus courante d'échantillonner des données dans un espace bidimensionnel et il a déjà été utilisé à une grande variété d'échelles (comparer l'analyse des éléments topographiques d'un site de 430 ha effectuée par Frondorf, McCarthy et Rasmussen (1978) à l'aide d'un échantillon par points et le même type d'échantillon effectué en Norvège pour le recensement des terres nationales (Norway Central Bureau of Statistics, 1980)). L'utilisation de points comme unités d'échantillonnage offre l'avantage de faire porter le gros de l'effort sur la classification, et d'obtenir une classification plus exacte qu'avec une unité couvrant une aire spécifique; le point n'empêche pas de transposer la couverture ou l'utilisation qu'il représente dans un contexte plus large, comme en témoigne la classification norvégienne basée sur 3 niveaux géographiques. Enfin, un tel échantillon ne nécessite pas non plus la numérotation des limites utilisation/changement des terres et convient peut-être mieux que les échantillons avec unités possédant une valeur de superficie à la couverture de vastes régions pour des caractéristiques autres que celles dérivées de l'imagerie de télédétection, comme les caractéristiques d'occupation des terres, qui sont coûteuses à obtenir. Le point, à titre d'unité d'échantillonnage, peut prendre n'importe laquelle des formes mentionnées ci-dessus : échantillon ponctuel aléatoire, échantillon ponctuel (semblable à l'échantillon systématique stratifié, un point étant choisi dans chaque strate), échantillon ponctuel systématique aléatoire stratifié, échantillon ponctuel systématique stratifié et, finalement, échantillon non aligné systématique stratifié (figure 3). L'un des problèmes opérationnels posés par l'échantillon ponctuel permanent, qui peut être mis au point pour des fins de surveillance (voir ci-dessous), est de trouver un moyen d'assurer l'identification facile de chaque point (qui, en réalité, est une unité géographique très petite), de façon à éviter la détection de "faux" changements.

La case, dont nous avons également parlé ci-dessus et que nous considérions comme une strate, représente une grappe d'unités d'échantillonnage élémentaires. Si la base (zone d'étude) est divisée en cases, segments ou grappes (par exemple cases d'une grille, unités administratives), un certain nombre d'entre elles peut être échantillonné (échantillon aléatoire, systématique ou stratifié). Si toutes les unités élémentaires de chaque grappe sont "échantillonnées", la grappe devient effectivement l'unité d'échantillonnage. Cela peut permettre de réaliser des économies considérables de temps et d'argent sur le

plan de la collecte des données, au prix cependant d'une certaine perte d'efficacité, mesurée en termes de nombre d'unités d'échantillonnage élémentaires lorsque les grappes sont relativement homogènes. Un plan à deux degrés peut également être mis en oeuvre, avec un échantillon de grappes du premier degré (soit les cases de la grille) et un échantillon du second degré, des points situés à l'intérieur de chaque grappe échantillonnée; un autre exemple pourrait être l'échantillon par grappes, à deux degrés, utilisé par Statistique Canada dans sa collecte d'observations statistiques agricoles, comportant un échantillonnage des secteurs de dénombrement (grappes du premier degré) puis un échantillonnage des segments aréolaires (grappes du deuxième degré) à l'intérieur de chaque secteur échantillonné. Ce plan à deux degrés peut avoir pour effet de concentrer l'effort de recherche, ce qui est certes utile dans tout exercice de collecte de données, mais qui peut être particulièrement avantageux lorsque la source de données est la photographie aérienne traditionnelle : il permet en effet de réduire le coût de la photographie et facilite l'interprétation des données. Toutefois, il faut être prudent dans l'estimation des paramètres de population (Taylor, 1977; Cochran, 1963; Holmes, 1967), étant donné que ces grappes ne sont souvent pas représentatives de l'ensemble de la population.

La taille des grappes est un élément important, tant du point de vue pratique que du point de vue théorique. En pratique, elle peut être déterminée de façon à être opérationnelle pour un enquêteur sur le terrain (si une enquête sur le terrain est nécessaire), ainsi qu'en fonction de l'échelle des données provenant de sources secondaires (par exemple des photographies aériennes) et de leur coût. En théorie, lorsque les grappes sont utilisées comme unités d'observation, la taille des cases peut influer profondément sur les résultats des analyses statistiques des données recueillies de cette façon. Par contre, lorsqu'il s'agit d'estimer les degrés de changement, cette dernière considération a moins d'importance.

Enfin, des lignes ou transects peuvent être tracés à travers l'aire à échantillonner. D'une part, les données peuvent être dérivées à partir de la proportion de la ligne dans chaque catégorie d'utilisation/couverture/changement des terres (les lignes peuvent être choisies au hasard, systématiquement ou de façon stratifiée), et constituer un échantillon de premier degré. D'autre part, des points peuvent être échantillonnés le long d'une ligne au hasard, systématiquement ou d'une manière stratifiée, pour constituer un échantillon à deux degrés. Les transects semblent à première vue convenir particulièrement bien à la photographie aérienne de type traditionnel, étant donné qu'ils permettent d'aligner les transversales avec les lignes de vol; en fait, cet avantage est plus illusoire que réel car, dans la plupart des cas, les mêmes données brutes constituent également une base appropriée pour les échantillonnages par points ou par cases, qui se prêtent beaucoup mieux à une stratification réaliste.

4.3.4 Rapport entre échantillons échelonnés

Les divers types de plan d'échantillonnage donnés ci-dessus peuvent être combinés de façon très variée. Tous peuvent être

orientés en fonction de l'estimation de la distribution de l'utilisation des terres, à un moment donné dans le temps. Jusqu'à présent on a représenté le changement d'utilisation des terres par la proportion ou le pourcentage d'une aire connaissant un type particulier de changement, et par le nombre d'acres en cause. Essentiellement, l'utilisation des terres au temps t et l'utilisation au temps (t+1) ont été traitées comme deux caractéristiques d'une unité d'échantillonnage donnée. Avec une base de données comme celle des matrices des tableaux 2 et 3, il n'y a certes aucun problème à échantillonner par points,cases ou lignes, ni à obtenir les informations voulues sur un changement quelconque. Toutefois, dans un programme de surveillance, de nouvelles données doivent être recueillies périodiquement. Il est donc inutile d'obtenir une couverture complète des données désirées, à cause de l'état actuel de la technologie d'extraction des données à partir de l'imagerie satellite. Il faut alors étudier le rapport entre les échantillons échelonnés.

Ouatre rapports fondamentaux existent entre des échantillonnages échelonnés : a) échantillons indépendants; b) échantillons fixes; c) échantillons fixes avec remplacement partiel; et
d) sous-échantillonnage à la deuxième occasion (dans le cas d'un inventaire au temps t et d'un sous-échantillon au temps (t+1), ce qui constitue essentiellement un échantillon à deux phases).

a) Échantillons indépendants aux temps t et t+1.

Des échantillons indépendants, prélevés à deux occasions successives ou plus, permettent d'estimer un changement net dans la proportion d'un terrain soumis à une utilisation donnée. Lorsqu'il s'agit d'établir la différence entre les deux moyennes d'échantillon, la variance de la distribution d'échantillonnage de la différence estimée est donnée par la somme de chacune des deux variances :

$$\left| E.T.(\bar{y}_1 - \bar{y}_2) \right|^2 = \frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}$$

A partir des données de l'échantillon, en supposant des variances égales, la variance estimée est :

$$\frac{(n_1 - 1)\, s_1^2 + (n_2 - 1)\, s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)$$

Avec des populations normalement distribuées ou lorsque les valeurs de n_1 et n_2 sont élevées, les limites de confiance peuvent être établies en fonction de l'importance de la différence estimée à l'aide de la distribution normale ou de la distribution t selon les circonstances. De la même façon, deux proportions à deux points différents dans le temps peuvent être comparées et :

$$\left| E.T.(p_1 - p_2) \right|^2 = \frac{p_1 q_1}{n_1} + \frac{p_2 q_2}{n_2}$$

Les échantillons indépendants soulèvent deux grands problèmes : premièrement, ils peuvent produire des erreurs

relativement importantes et, deuxièmement, ils ne permettent pas de surveiller les séquences de changements; ces deux inconvénients constituent une limitation importante des besoins et objectifs d'un P.S.U.T.C.

b) Échantillons permanents.

Avec un ensemble fixe d'unités d'échantillonnage, on peut prévoir une réduction des erreurs d'échantillonnage dans l'estimation des changements. La variance de la distribution d'échantillonnage des différences entre deux moyennes est donnée par :

$$\left|\text{E.T.}_{\text{relative}}(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)\right|^2 = \frac{\sigma^2}{\bar{y}_1} + \frac{\sigma^2}{\bar{y}_2} - 2p_{12}\frac{\sigma}{\bar{y}_1}\frac{\sigma}{\bar{y}_2}$$

où p_{12} est le coefficient de corrélation de la population entre les variables y_1 et y_2 façon, les différences entre deux proportions d'un ensemble permanent doivent prendre en considération la covariation entre les deux caractéristiques, et :

$$\left|\text{E.T.}_{\text{relative}}(p_1 - p_2)\right|^2 = \text{var}(p_1) + \text{var}(p_2) - 2\text{cov}(p_1, p_2)$$

Dans les deux cas, comme il y a normalement covariance positive étant donné que les mesures sont prises sur les mêmes unités d'échantillonnage, l'effet du réseau permanent est de réduire les erreurs d'échantillonnage dans l'estimation du changement net.

En outre, les opérations visant à déterminer les variables tant quantitatives que qualitatives sont, dans un réseau permanent, encore plus simples que les formules données ci-dessus. En ce qui concerne les variables quantitatives, la différence pour chaque observation est mesurée et devient une variable simple se prêtant à la vérification, par exemple, pour une différence significative se démarquant à zéro. Pour une variable qualitative, le changement d'une catégorie à une autre peut être traité comme une autre classe d'attribut (compte tenu de k classes d'utilisation des terres possibles, le nombre de catégories de changement possibles, y compris l'absence de changement, est k^2 sur une période donnée); ainsi, on peut estimer, comme précédemment, les zones soumises à des changements précis.

En présence de changements relativement faibles, les termes de covariance dans les formules ci-dessus seront fortement positifs et entraîneront une importante réduction dans les erreurs d'échantillonnage (Norway Central Bureau of Statistics, 1980). En général, plus la corrélation entre deux tirages successifs est forte, plus l'efficacité d'un réseau d'échantillonnage permanent est importante comparativement à celle d'échantillonnages indépendants. Comme nous l'avons déjà souligné, la plupart des changements dans l'utilisation des terres se font lentement. Ce type d'échantillonnage semble convenir particulièrement bien à l'analyse et à

la surveillance de l'utilisation des terres dans les régions rurales.

L'échantillon permanent offre également l'avantage de réduire les coûts d'échantillonnage pour les utilisations subséquentes, en supposant que la population ne soit pas composée d'humains; la détermination de l'unité d'échantillonnage est nécessaire une seule fois. Si des renseignements autres que ceux concernant la couverture/activité des utilisations des terres doivent être obtenus à une date ultérieure, ce type d'échantillonnage facilite également l'acquisition successive des nouvelles données, portant par exemple sur la qualité des terres ou leur mode d'occupation.

c) Échantillon permanent avec remise partielle.

Il peut être nécessaire d'utiliser ce genre d'échantillon avec des populations qui sont elles-mêmes sujettes au changement ("naissance et mortalité" chez les personnes, dans les firmes, etc.). Lorsque les observations portent sur des populations humaines, la remise partielle est souvent jugée nécessaire afin de réduire les intrusions répétées dans la vie privée des répondants, comme les exploitants agricoles. Des taux de remise partielle de 20 à 33 % sont relativement fréquents dans les enquêtes annuelles à grande échelle sur les exploitations agricoles (voir les statistiques agricoles de Statistique Canada et la base d'échantillonnage aréolaire américaine (U.S. Area Sampling Frame)). Dans une analyse de l'utilisation des terres, ces taux de remise sont utilisés si certaines utilisations peuvent être considérées comme "terminales" (le développement urbain), ou si de nouveaux secteurs doivent être incorporés dans un domaine. La remise partielle systématique peut permettre d'établir des estimations plus exactes sur les paramètres de population à un moment donné dans le temps; la méthode de remise partielle a beaucoup à offrir en termes de précision car elle permet d'utiliser des renseignements supplémentaires pour réviser les estimations antérieures. En ce qui concerne l'estimation des différences, lorsque le changement a peu d'ampleur, les échantillons permanents permettent une estimation plus efficace du changement que les échantillons avec remise partielle (d'autant plus que la corrélation entre les deux distributions est grande); ceux-ci sont plus efficaces que les échantillons indépendants.

d) Sous-échantillons d'observations faites au temps t (et qui peuvent avoir constitué un inventaire total) pour le temps (t+1).

Dans ce cas, le changement peut être simplement estimé à partir des renseignements obtenus sur les unités communes aux deux échantillonnages. La situation est donc similaire à un réseau d'échantillons permanents. Si les observations faites au temps t constituaient un inventaire complet de toutes les observations ou un échantillon beaucoup plus important que le sous-échantillon, on disposerait alors de renseignements considérables

sur la précision des estimations de l'échantillon au temps t et, par inférence, au temps (t+1). Ainsi, sans procéder à un inventaire total, on peut assurer un meilleur contrôle sur le degré de précision des estimations de l'échantillon, en tirant un échantillon relativement gros (et également permanent), à des intervalles plus espacés que pour le sous-échantillonnage.

4.4 Résumé

On peut faire, à partir de cette comparaison sur les différents plans d'échantillonnage, un certain nombre d'observations.

a) Le tirage au sort des unités d'échantillonnage donne des estimations plutôt imprécises, bien qu'une stratification soigneuse permette de corriger quelque peu la situation. Cependant, cette propriété qu'a la stratification de réduire les erreurs décroît normalement à mesure que le nombre de phénomènes à l'étude augmente.

b) Là où des tests (par échantillonnage répété de la même population (voir Taylor, 1977)) ont été effectués, l'échantillon par grappes aléatoires s'est révélé très imprécis même si, opérationnellement, il offre de nombreux avantages.

L'échantillonnage par grappes systématiques devrait donner des estimations plus précises, mais cela dépend toujours de la nature de la distribution échantillonnée.

c) Ainsi, la forme de la distribution de la population (catégorie d'utilisation des terres, catégorie de changement) a une très grande importance tout comme la taille de la grappe utilisée dans l'échantillonnage.

d) L'ampleur d'une utilisation ou d'un changement des terres est aussi importante. Compte tenu de ce facteur et de la forme de la distribution, mentionnée en (c), il semble inutile de procéder à un échantillonnage raisonné général pour tenter d'interpréter les informations sur de petits changements très concentrés géographiquement. De tels phénomènes peuvent être mieux abordés au moyen d'autres sources d'information ou d'autres méthodes d'échantillonage.

e) Il importe de déterminer le niveau de classification à utiliser à une échelle donnée. Les classifications détaillées sont moins précises que les classifications générales pour les estimations aréolaires. C'est à dire qu'en dernier recours, pour tirer un échantillon géographique, l'utilisation de l'imagerie satellite couvrant l'ensemble du pays peut assurer la base générale nécessaire; la détection des changements peut alors servir à définir les limites des aires en vue d'une étude plus poussée.

f) Dans le cas d'un échantillonnage répété, l'utilisation d'un échantillon permanent semble être la façon la plus précise de déterminer les types de changement d'utilisation des terres survenant dans

les régions rurales, bien que les changements de faibles ampleurs posent toujours certains problèmes en termes de taille d'échantillon.

g) Souvent, les cases ou les grappes offrent des avantages opérationnels sur le plan de la collecte des données. Les points, de leur côté, ont l'avantage de mieux concentrer l'effort (par exemple dans la classification) et de permettre l'acquisition de données autres que les données sur la couverture/activité des terres. Le plan à deux phases, comportant des grappes avec leurs points, devrait faire l'objet d'une étude plus poussée, afin de voir si les avantages qu'offrent les deux formes d'unité peuvent être cumulés.

h) Dans le cas de l'échantillon aréolaire, le rôle joué par la forme de la distribution des utilisations et des changements semble avoir une importance capitale. Il est clair qu'on pourrait pousser plus loin la comparaison entre méthodes en présence de diverses conditions. La taille des cases ou des segments dans un plan, faisant appel à une forme quelconque d'échantillon par grappes, a également une importance pratique incontestée. Bien que l'on puisse tenter de définir la taille optimale d'une grappe en fonction d'une utilisation des terres précise (et peut-être d'un processus de changement), le fait qu'en général l'intérêt d'une enquête ou d'un programme de surveillance porte avant tout sur plusieurs variables de grandeurs et de distributions différentes, donne aux considérations d'ordre pratique un rôle prédominant dans la détermination de la taille des grappes. Par exemple, les segments de (1x3) milles, utilisés dans l'échantillon aréolaire agricole de Statistique Canada, sont faciles à utiliser sur le terrain sur des périodes relativement courtes.

i) La détermination des unités de recensement (nombre et échelle) a une grande influence sur les besoins en échantillons, étant donné qu'un niveau de recensement plus détaillé nécessite un plus grand nombre d'échantillons pour un même degré de précision. De plus, là où il est possible que l'on parvienne un jour à définir des unités à des échelles plus petites, il est important d'étudier le rapport entre, d'une part, l'utilisation initiale des facteurs de stratification et de leurs manifestations géographiques et, d'autre part, la configuration probable de ces futures unités de recensement.

5. REVUE DE DIVERSES MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE ARÉOLAIRE METTANT L'ACCENT SUR LA SURVEILLANCE DU CHANGEMENT

5.1 Estimation des inventaires ou surveillance du changement

Après examen des documents fournis par la Direction générale des terres et des autres textes publiés dans les journaux et rapports d'organismes gouvernementaux, il semble qu'aucun programme de surveillance de l'utilisation des terres autre que celui envisagé par la Direction générale des terres soit en vigueur à l'heure actuelle. Un grand

nombre d'études sont en marché dans plusieurs pays, mais la majeure partie d'entre elles porte sur l'estimation de la distribution des terres et des ressources à un moment précis dans le temps, plutôt que sur la surveillance.

Le terme surveillance est employé dans le sens de "détection des changements dans l'utilisation des terres"; on peut toujours procéder à une étude plus poussée d'un changement quelconque lorsqu'il dépasse un certain seuil préalablement défini ou lorsqu'il est trop concentré entre des utilisations précises. Comme nous l'avons souligné au chapitre 3, le but de la surveillance est de détecter le changement lui-même et non pas de faire l'inventaire des distributions dans l'utilisation des terres à un moment donné dans le temps. Il faut toutefois souligner que lorsqu'un changement est détecté, les distributions d'utilisation réelles peuvent être reproduites avec des degrés de précision acceptables, au moyen d'une méthode d'échantillonnage aréolaire appropriée.

Dans le programme du P.S.U.T.C., les régions urbaines susceptibles d'afficher des taux de changements importants sont couramment traitées en fonction d'une approche d'inventaire complet à des intervalles de 5 ans. Le P.S.U.T.C. prévoit également la tenue d'inventaires complets des utilisations des terres dans certaines régions spéciales lorsque le besoin s'en fait sentir. Ces deux programmes reposent présentement sur l'interprétation de photographies aériennes traditionnelles et quelques vérifications sur le terrain. Pour garder à jour un inventaire des terres complet des vastes régions d'utilisation des terres rurales, il est fort probable que l'on utilisera à l'avenir l'imagerie satellite à haute altitude. Elle permet d'obtenir un relevé permanent des utilisations des terres classées au niveau le plus général (c'est-à-dire au niveau I) (Mausel, Leivo et Lewellan, 1976). La technologie nécessaire pour obtenir régulièrement les données brutes est au point. Le seul domaine qui semble nécessiter plus de développements est celui de l'interprétation automatisée des données pour de très vastes régions. La seule grande préoccupation à ce niveau général de classification a trait aux erreurs de classification et aux coûts. De telles données générales d'inventaire associées à la détection de changements précis pourraient fort bien, un jour, assurer la couverture exhaustive des principaux domaines d'utilisation des terres, déterminés par la Direction générale des terres.

5.2 Revue des travaux existants

5.2.1 Organisation et historique

La revue qui suit a été entreprise en fonction des points suivants : a) la distinction surveillance-inventaire; b) les objectifs du P.S.U.T.C.; et c) les problèmes et perspectives soulevés par les méthodes d'échantillonnage aréolaire utilisées dans divers pays. La classification utilisation/couverture des terres de la Direction générale des terres est retenue; toutefois, le degré de détail possible dans un programme de détection des changements dépend en partie de la méthode de collecte de données (celle-ci peut comporter des vérifications sur le terrain, l'interprétation de points ou d'aires à partir de photographies aériennes

traditionnelles ou de données numériques fournies par Landsat, etc...). Comme l'analyse porte avant tout sur l'échantillonnage des utilisations des terres rurales, nous ne nous sommes attardés ni sur l'abondante documentation sur la détection des changements d'utilisation des terres urbaines (Rhind et Hudson, 1980; Adeniyi, 1980), ni sur les importants travaux pertinents en matière de collecte de données sur la foresterie, la végétation, la géomorphologie et l'agriculture. L'objet de l'étude consiste à évaluer les stratégies d'inventaire et de surveillance des utilisations des sols adoptées dans les pays de l'Europe de l'Ouest et aux États-Unis, et à déterminer différentes méthodes d'échantillonnage applicables au Canada.

Il s'agit donc de savoir comment les divers organismes gouvernementaux des autres pays font pour recenser l'utilisation des terres nationales. Lorsque les documents ont été consultés, nous avons remarqué des hésitations et des tâtonnements au cours des années 1970. Ceci est dû à l'apparition de l'imagerie satellite et des possibilités incertaines qu'elle offrait sur la surveillance des changements dans l'utilisation des terres, sauf à un niveau de classification très général, même si elle semblerait être théoriquement le système idéal pour la surveillance de la couverture des terres (Howarth, 1982). Parmi les autres facteurs qui ont contribué à cette étude, mentionnons les mauvaises récoltes du milieu des années 1970, qui ont incité les pays à tenter d'établir des estimations des aires cultivées et des récoltes rentables. Elles ont suscité des préoccupations de plus en plus marquées face à la conversion des terres agricoles en terres urbaines et à l'impact de l'urbanisation sur les terres agricoles. De plus l'adoption de lois sur la dégradation de l'environnement et l'utilisation des ressources a favorisé un regain des activités de recherche. Bref, les perfectionnements technologiques ont ouvert de nouveaux horizons pour la surveillance de l'utilisation des terres au niveau national, de même que l'ampleur des impacts sur la base de ressources nationales faisait ressortir la nécessité d'accroître les efforts dans ce domaine.

Les méthodes de collecte de données, préoccupation de longue date en foresterie, ont été appliquées aux utilisations agricoles et autres le jour où l'on s'est rendu compte de l'absence d'inventaires de base. Les recherches en ce domaine ont pris leur essor, au Canada et aux États-Unis, pendant les années 1960; le Canada a acquis à cette époque une réputation internationale grâce à ses efforts d'avant-garde en matière d'inventaires du potentiel des sols et à la mise au point d'une banque de données informatisées sur les terres. Pendant ce temps, aux États-Unis, les premières tentatives d'inventaire national de l'utilisation des terres étaient amorcées par le Soil Conservation Service à l'aide d'une méthode d'échantillonnage basée sur les comtés, tandis que les classifications de l'utilisation des terres évoluaient de façon à pouvoir répondre à des demandes de renseignements de plus en plus détaillées, et à intégrer les possibilités offertes par l'imagerie de télédétection à haute altitude (Anderson et al., 1976; Gierman, 1981).

5.2.2 Approches de base

La demande à l'échelle nationale a donné lieu à l'adoption de diverses approches, une fois qu'il a été reconnu que les données nécessaires devaient être plus détaillées que celles fournies par le niveau de classification le plus général (niveau I). L'une des méthodes d'échantillonnage générales consiste à définir des zones spéciales d'utilisation des terres pour fins d'étude, comme la Direction générale des terres d'Environnement Canada a fait pour les régions urbaines. Nous n'avons pu trouver aucun autre pays qui fournisse des informations systématiques sur l'utilisation des terres à l'échelle nationale en fonction du temps dans le cadre d'une classification de la capacité des sols pour les grandes zones interfacielles urbaines-rurales. Au lieu de cela, un deuxième type de méthode d'échantillonnage général est adopté. Il comporte l'élaboration d'un plan d'échantillonnage visant à produire une estimation de la distribution des utilisations des terres (superficies et proportions) à des moments précis dans le temps, ou en fonction de périodes variables déterminées par des besoins précis (Milazzo, 1980). Habituellement, la fonction de surveillance constitue un objectif implicite, l'information étant stockée sous forme de banque de données et parfois sous forme de cartes. Plusieurs des méthodes adoptées en Europe de l'Ouest semblent s'appliquer plus facilement à des pays géographiquement peu étendus et densément peuplés, comme la Norvège, qu'à des pays très vastes, parce qu'ils considèrent l'ordre financier. Toutefois, certains aspects de ces plans d'échantillonnage sont valables quel que soit le pays. Dans les sections qui suivent, nous évaluons les diverses tentatives d'inventaire, de surveillance et d'échantillonnage des utilisations des terres qui ont été faites dans certains pays d'Europe de l'Ouest, ainsi qu'aux États-Unis. Les résultats de cette analyse sont résumés au tableau 7.

5.2.3 Europe de l'Ouest

Avant de faire la revue des expériences tentées en Europe de l'Ouest, soulignons le peu d'étendue et les fortes densités démographiques dans plusieurs pays (tableau 7). Ainsi, la méthode norvégienne analysée ci-dessous, quoique exhaustive et bien planifiée, se traduirait, au Canada, par des coûts par habitant et des coûts totaux exorbitants si l'on devait utiliser les mêmes densités d'échantillonnage. Par ailleurs, la transposition directe de ces densités d'échantillonnage au Canada est impossible, car la géographie des régions d'utilisation des terres (si celles-ci étaient utilisées comme strates) serait différente selon l'échelle géographique à laquelle se manifestent les principales variations dans l'utilisation des terres. Etant donné la superficie relativement petite des pays de l'Europe de l'Ouest, il y est relativement facile d'obtenir, pour un organisme national, la cartographie complète du pays par photographies aériennes en une seule année comme c'est le cas en Allemagne de l'ouest, en France et en Suisse. Ce qui distingue également ces pays du Canada et, à un moindre degré, des États-Unis, c'est la possibilité d'une centralisation dans des systèmes gouvernementaux non fédéraux et les liens directs qui existent avec les administrations municipales et les représentants des organismes nationaux aux niveaux local et régional, représentants qui peuvent être chargés de recueillir des données sur

TABLEAU 7
CARACTÉRISTIQUES SOMMAIRES DE DIVERS PROGRAMMES ÉTRANGERS

Pays	Caractéristiques				
	Superfice des terres (milliers de km ^{2})	Population* (millions)	Méthode d'échantillonnage	Objet et niveau de recensement	Stratification
Canada	Total: 9,861 écoumène: 1,200	24.1	P.S.U.T.C.	Estimation du changement dans l'utilisation des terres à l'échelle nationale et provinciale.	
États-Unis	9,255	226.5	Base de données d'échantillonnage aréolaire du ministère de l'Agriculture des É.-U.	Estimations annuelles des cultures et du bétail à l'échelle de l'État, de la région et de l'ensemble du pays.	Régions d'utilisation des terres à l'intérieur des États. Facteurs géographiques également pris en considération.
Royaume-Uni	241	55.7	Aucun. Commentaires sur la proposition de Dickinson et Shaw (1977).	Surveillance des changements dans l'utilisation des terres à l'échelle nationale. Les données recueillies servent de données d'entrée pour la planification de d'utilisation des terres.	Aucun commentaire.
Pays-Bas	42	14.0	Aucun. Commentaires sur le programme d'inventaire complet.	Surveillance détaillée des changements dans l'utilisation des terres à l'échelle nationale et locale. Données d'entrée, pour la planification de l'utilisation des terres.	Sans objet.
France	538	53.6	Programme du ministère de l'Agriculture.	Estimation en grande partie annuelle des principales caractéristiques agricoles (région et nation) en plus de l'utilisation générale des terres.	Régions d'utilisation des terres et "besoins spéciaux" (nation, région, comté); géographiques.
Norvège	320	4.1	Bureau central de la statistique.	Recensement national des terres; utilisation des terres dans les régions urbaines. Surveillance; données d'entrée pour la planification.	Zones urbaines selon la taille. Zones rurales selon l'utilisation générale des terres.
Suisse	41	6.4	Gouvernement fédéral. Voir Kolbe et Trachsler (1980).	Statistiques sur l'utilisation et les changements d'utilisation des terres pour fins de planification à l'échelle nationale.	Aucune. La densité d'échantillonnage peut cependant être augmentée au besoin.

* Sespor Whitaker's Almanac, 1982.

TABLEAU 7 (suite)

Pays	Caractéristiques					
	Unités d'échantillonnage	Méthode de sélection de l'unité d'échantillonnage	Rapport temporel	Travail sur le terrain	Données autres que sur l'utilisation des terres	Durée du cycle
Canada					Couverture mode d'occupation, qualité des terres.	10 ans.
États-Unis	Segments aréolaires comme unités du premier degré.	Aréolaire ou systématique (parfois avec répétition) pour le premier degré.	Remise partielle.	Collecte de données.	Variables agricoles.	Annuel.
Royaume-Uni	Échantillon par points.	Systématique.	Réseau permanent.	Collecte de données.	Sans commentaire.	Sans commentaire (probablement annuel).
Pays-Bas	Sans objet.	Sans objet.	Sans objet.	Collecte de données.	Sans commentaire.	2 ans.
France	Photos à l'échelle 1:25,000 au premier degré, points comme unités du second degré.	Systématique pour les deux degrés.	Réseau permanent.	Collecte de données.	Intérêt dans la qualité des terres.	Annuel, et 3 ans pour échantillonnage plus détaillé.
Norvège	Échantillon par points.	Systématique.	Réseau permanent.	Une partie de la collecte des données.	Utilisation importante pour le futur.	Cycle urbain déclaré de 10 ans.
Suisse	Échantillon par points.	Systématique.	Réseau permanent.	Vérification sur le terrain des photographies aériennes.	Utilisation possible pour le futur.	6 ans.

l'utilisation des terres aux fins de la détection des changements dans ce domaine.

Les pays européens mentionnés ci-dessous ont été choisis en partie, à cause de la disponibilité des informations à leur sujet et en partie, parce qu'ils offrent différentes approches en matière de collecte systématique des données sur l'utilisation des terres. Le Royaume-Uni, bien qu'il ait une longue histoire dans ce domaine, ne possède toujours pas de programme de surveillance, les Pays-Bas sont l'exemple parfait du pays appliquant la méthode d'inventaire complet, tandis que la France, la Norvège et la Suisse ont toutes des méthodes d'échantillonnage d'approches différentes qui sont à des stades divers de développement.

5.2.3(i) Royaume-Uni

La cartographie de l'utilisation des terres date depuis longtemps au Royaume-Uni (Rhind et Hudson, 1980, chapitres 4 à 6). Pourtant, malgré les célèbres relevés d'utilisation des terres de Stamp et Coleman, le pays semble encore manquer d'un programme de surveillance satisfaisant (Dickinson et Shaw, 1977). Comme les programmes cartographiques durent un certain nombre d'années, ils permettent d'établir des cartes d'utilisation des terres valables, mais n'offrent aucune possibilité réelle de surveillance. Des statistiques, sur le changement dans l'utilisation des terres destinées à la surveillance au niveau national, sont exigées chaque année des municipalités en vertu d'une circulaire du ministère de l'Environnement (U.K. Department of the Environment, 1974). Mais, selon Dickinson et Shaw (1977), ces données comportent trois failles importantes :

a) Les classifications de l'utilisation des terres ne sont pas compatibles d'une municipalité à l'autre;
b) Il n'existe aucune méthode normalisée pour définir l'unité recensée;
c) Il n'y a aucun moyen efficace de relier ces données à celles provenant d'autres sources d'information.

Pour corriger cette situation, Dickinson et Shaw proposent trois solutions :

a) L'adoption d'une classification normalisée;
b) L'établissement d'un ensemble d'unités bien définies à partir desquelles il est possible de mesurer l'utilisation des terres;
c) L'application d'un échantillonnage par points, facile à informatiser, qui élimine l'ambiguïté entre les utilisations de même que les erreurs de mesures de superficie.

Ils recommandent donc l'adoption d'un échantillon systématique permanent défini par les intersections des lignes de la grille nationale (National Grid) sur les cartes d'arpentage par ordonnance (Ordinance Survey). Ce sont les autorités locales qui doivent recueillir les données, approche d'ailleurs adoptée aux Pays-Bas (voir ci-dessous). Un tel lien direct entre le gouvernement et les administrations municipales serait difficile à établir au Canada. Il n'en reste pas moins que la méthode d'échantillonnage suggérée mérite d'être considerée. Un problème constant posé par la surveillance au Royaume-Uni semble être l'absence d'une entente au sujet d'une classification nationale de l'utilisation des terres (Rhind et Hudson, ch. 4).

5.2.3 (ii) Pays-Bas

Les Pays-Bas, pays infiniment plus petit que le Canada (tableau 7), a élaboré une base de données sur l'utilisation des terres, à partir d'un inventaire complet des utilisations et des changements en fonction d'intervalles relativement courts. D'après les informations limitées que nous possédons (Netherlands Central Bureau of Stastistics, 1980), il apparaît que la première tentative, qui comportait l'envoi de questionnaires sur l'utilisation des terres aux administrations municipales, a été remplacée par un vaste programme de compilation de cartes d'utilisation des terres au milieu des années 1970.

En se basant sur des cartes topographiques au 1:10,000, les municipalités devaient cartographier les utilisations des terres en fonction de 31 catégories, dans un système avec grille, où chaque case représentait une superficie de 500 mètres carrés (la grille comportait quelque 168,000 cases pour l'ensemble du pays). Le traitement de ces
dd données cartographiques s'est fait
mmm manuellement (au moyen d'un planimètre) et le
m mesurage pour l'ensemble du pays a nécessité, selon les estimations, 30 années-personnes entre 1976 et 1979 L'estimation du changement dans l'utilisation des terres est basé sur les renseignements recueillis au niveau municipal à tous les deux ans, à partir des changements cartographiés pendant la période considérée. Ces renseignements sur le changement sont traités par le bureau central de la statistique et une configuration révisée de l'utilisation des terres est établie. De cette façon, des matrices de transition (comme celles qui figurent aux tableaux 2 à 4) peuvent être produites pour un ensemble varié d'unités géographiques, jusqu'à ¼ de km^2 d'une case. Compte tenu de l'expérience initiale avec transcription et mesurage manuel des données, il n'est pas étonnant qu'on ait envisagé en 1980 de convertir en numérique les données cartographiées, non pas pour réduire le temps nécessaire au traitement mais pour mieux pouvoir manipuler les données.

Ce genre d'inventaire complet de l'utilisation des terres et des changements est intéressant car il permet (notamment lorsque le traitement comporte la conversion numérique) de se concentrer sur le changement. Un tel inventaire est capable de répondre aux objectifs d'un programme de surveillance de l'utilisation des terres. Toutefois, son mode précis de fonctionnement dépend de la coordination de l'effort national et municipal, et ses coûts sont plus élevés que ceux d'un simple échantillonnage; pour ces deux raisons, il est peu probable qu'un tel programme puisse être appliqué au Canada.

5.2.3 (iii) France

La France est activement engagée depuis quelques années dans la collecte de données statistiques sur l'utilisation des terres, bien que son expérience avec les sources d'information (recensement, arpentage, etc.) date de beaucoup plus longtemps. Diverses enquêtes spéciales ont été réalisées (par exemple, l'inventaire plutôt lent des ressources forestières (Bulletin interministériel du ministère de l'Agriculture, 1974)), et on semble fortement intéressé à l'heure actuelle à inventorier

les utilisations des terres à partir de l'imagerie Landsat (par exemple, I.N.S.E.E., 1980a; Ballut, Delavigne et Lenco, 1980). Un certain nombre de tests ont également été effectués, en France, sur les mérites relatifs de l'échantillon par points. Ainsi, Poissonet (1968) a comparé l'exactitude de l'échantillon par points de l'utilisation des terres à celle d'un inventaire complet de chaque utilisation, en se servant d'un intervalle de confiance de 95 % et de 1,000 échantillons ponctuels aléatoires; ce n'est que pour une utilisation sur vingt que la proportion réelle déterminée par l'inventaire complet se situe hors de l'intervalle choisi pour l'échantillon. De la même façon, Laskar (1974) a mesuré les utilisations brutes des terres au moyen de l'échantillon par points dans 4 départements centraux de la région de Paris.

Le programme le plus important en France est sans doute celui qui a été entrepris par le Service central des enquêtes et études statistiques (S.C.E.E.S.) du ministère de l'Agriculture, dans le but de recueillir des statistiques agricoles annuelles. Le programme actuel prend racine dans une initiative datant de la fin des années 60; un certain nombre de changements y ont été apportés en 1975, tant du niveau des classifications que des procédures, et nos commentaires portent en grande partie sur la méthode la plus récente. Il s'agit essentiellement de tirer un échantillon à deux degrés basé sur un échantillonnage de photographies aériennes et de recueillir des données sur l'utilisation des terres et leurs fonctions, au moyen d'une observation sur le terrain. Le programme de collecte de données statistiques agricoles de Statistique Canada ainsi que le programme équivalent aux États-Unis comportent un volet "travail sur le terrain" semblable à celui de ce programme.

Le but original était de faire et l'est encore dans une large mesure, la production de tableaux statistiques sur les régions en fonction des cultures qui y sont effectuées, au niveau national et régional (région de programme) et, moins fréquemment, au niveau du département. Le caractère agricole du programme est reflété dans la classification utilisée (Fournier, Gilg et Jeanton, 1980; S.C.E.E.S., 1976 et 1980), même si celle-ci a été élargie de beaucoup depuis 1975, de façon à couvrir des utilisations non agricoles (Lenco, 1973). Cette classification est basée autant sur la couverture des terres à un point précis que sur la fonction (activité) de l'utilisation des terres (ceci permet de distinguer un point situé dans un terrain de stationnement d'un centre commercial à un autre situé dans un développement industriel). Selon Fournier, Gilg et Jeanton (1980), cette classification est unique en Europe, bien qu'elle offre certaines similitudes avec les différents niveaux géographiques utilisés dans le système de classification de la Norvège. Les détails de la classification au niveau des régions agricoles nécessitent en particulier d'importants travaux sur le terrain pour en assurer l'exactitude à une aussi large échelle. Dans l'ensemble, plus de 100 classes différentes figurent dans les instructions de 1980 (S.C.E.E.S., 1980), dont plus de 80 concernent l'utilisation physique des terres (couverture) et environ 25 les aspects fonctionnels (activité).

La base du sondage est un échantillon de photographies aériennes, stratifié par aires

géographiques. Les photographies aériennes constituent les unités d'échantillonnage du premier degré: elles ne constituent pas en elles-mêmes une source de données, mais sont plutôt utilisées pour la localisation et l'identification de l'ensemble des unités d'échantillonnage du deuxième degré. Il serait possible d'avoir recours à d'autres moyens pour choisir les unités d'échantillonnage du premier degré dans une autre version de ce système (par exemple, choisir à partir de portions de cartes topographiques).

Avant 1975, on procédait à l'échantillonnage d'environ 100 photographies (échelle de 1:25,000) par département et à un échantillon systématique par points à raison de 72 points par échantillon. Depuis 1975, une approche plus systématique a été adoptée, partant du niveau national. D'abord, une grille de 12 km x 12 km N-S, E-O est superposée au pays. Huit points fixes sont ensuite choisis dans chaque case de la grille (échantillon systématique) basée sur une grille orientée NE/SO, NO/SE; l'échantillon national comprend au moins une photographie par case systématiquement localisée avec la photo choisie, dont le centre se trouve le plus près du point localisé sur la carte. La densité réelle des photographies choisies varie entre 1 et 8, en fonction de la stratification en régions générales d'utilisation des terres aux niveaux national, régional et départemental ou en fonction des besoins locaux, pour que l'échantillon annuel national total de photographies compte environ 8,000 photos (S.C.E.E.S., 1975). Au deuxième degré, chaque photographie échantillonnée est échantillonnée systématiquement avec 36 points, dont chacun est séparé à environ 300 mètres. Ces points comprennent un échantillon permanent qui fait l'objet d'une visite annuelle par des travailleurs sur le terrain dans chaque bureau départemental du ministère de l'Agriculture; une vérification est faite pour 1/6 des points. Cela constitue la base des statistiques nationales et régionales sur l'utilisation des terres.

Un échantillonnage triennal, effectué en 1977, est venu ajouter 7,000 autres photos à l'échantillon national, assurant ainsi une meilleure base de recensement au niveau départemental. La densité d'échantillonnage des photographies était basée sur une stratification aux niveaux régional et départemental.

Les aspects importants de cette méthode sont les suivants :

a) Il s'agit d'un échantillon géographiquement stratifié, à deux degrés. Le premier degré consiste à choisir systématiquement un échantillon de photographies tirées d'une grille nationale, la densité des échantillonnages variant selon les strates (par exemple, utilisation des terres). L'échantillon du deuxième degré est essentiellement une grappe (la photographie aérienne) d'unités d'échantillonnage par points choisies systématiquement dans chaque photographie échantillonnée.

b) Les deux cycles (annuel et triennal) permettent de réduire l'effort nécessaire : l'échantillonnage dense est ainsi effectué tous les trois ans dans le but de produire des données plus

exactes à des niveaux relativement dispersés.

c) Les données recueillies reposent sur le travail effectué sur le terrain. La tâche est facilitée d'abord par la petite superficie du pays comparativement au Canada (tableau 7), et ensuite par la structure organisationnelle du ministère de l'Agriculture. Néanmoins, une procédure semblable d'échantillonnage à deux degrés pourrait être élaborée à partir seulement de l'interprétation de photographies aériennes et des vérifications nécessaires sur le terrain.

d) L'accent est placé sur l'estimation de la composition et de la superficie des utilisations des terres (particulièrement les terres agricoles) à un moment donné dans le temps. Bien que l'aspect surveillance ait été mentionné (Fournier, Gilg et Jeanton, 1979) et qu'on ait même envisagé la possibilité d'utiliser des matrices de changement (Lenco, 1973), il semble que l'on n'ait guère tenté de procéder à une analyse systématique du changement. Le problème semble être dû en partie, jusqu'en 1980 (Mariette, 1982), aux échantillons. Bien que les échantillons aient été invariables, le nombre d'entre eux qui faisait effectivement l'objet d'une enquête variait en fonction des conditions budgétaires, compliquant ainsi l'établissement d'estimations systématiques et justes du changement. La localisation du même point sur le terrain d'une année à l'autre a également soulevé certains problèmes. Enfin, les petites utilisations concentrées spatialement semblent soulever des difficultés (I.N.S.E.E., 1980a). A ce chapitre, il est intéressant de remarquer que l'ensemble du programme de recensement agricole ne repose pas uniquement sur ce système et que des enquêtes spéciales sont entreprises pour des utilisations précises. Ce programme permet une analyse rigoureuse, même si certaines des données que veut obtenir la Direction générale des terres (par exemple la qualité des terres) n'ont pas été intégrées à la base. Le système est toutefois assez souple pour éventuellement incorporer ce genre de données.

5.2.3 (iv) La Norvège

La Norvège est un autre pays qui a élaboré une méthode d'échantillonnage pour obtenir des informations systématiques sur l'utilisation des terres et, en dernière instance, sur les changements d'utilisation des terres. Beaucoup plus étendue que les Pays-Bas, mais beaucoup plus petite que le Canada (tableau 7), la Norvège a aussi adopté une méthode pour des raisons d'ordre financier (Garnasjordet et Longva, 1979). Le système en vigueur a été perfectionné à la fin des années 70 et au début des années 80, bien qu'il fasse appel à certaines sources de données dont l'origine remonte à beaucoup plus loin. Il a évolué en fonction des besoins en informations détaillées sur le dénombrement des terres exprimés par les organismes gouvernementaux, chargés d'élaborer une politique nationale d'utilisation des terres. Il a donc un objectif de "surveillance". Toutes les

données provenant de diverses sources (recensement, cadastres, cartes et cadastres dérivés de cartes) sont intégrées dans une base codée géographiquement. Le lien le plus important entre les diverses sources de données est le point d'échantillonnage, situé dans la grille nationale des cartes topographiques.

Pour ce qui est de l'utilisation des terres et des changements d'utilisation, les grandes priorités du système de dénombrement des terres ont été établies en 1980 par le Bureau central de la statistique et s'énoncent comme suit :

a) Production de données statistiques exhaustives sur l'utilisation des terres pour les régions urbaines (régions dont la population dépasse 1,000 habitants, ce qui représente environ 250 régions);

b) Exécution d'une enquête sur l'utilisation de toutes les terres nationales;

c) Dénombrement des terres dans certains comtés-pilotes.

La classification des utilisations des terres dans les secteurs urbains est fondée sur une distinction intéressante entre les échelles géographiques d'observation à un point précis, allant, à l'échelle la plus petite, de la couverture ("structure physique et surface") jusqu'au champ (ou à la parcelle) et à la région, au niveau le plus général. L'échelle la plus petite est essentiellement une classification de la couverture tandis que les deux autres niveaux consistent avant tout des classes d'activités. Le rapport entre ce genre de classification et la classification française que nous avons déjà décrite apparaît ici clairement.

L'aspect le plus important de ce programme, tant au niveau de l'établissement urbain qu'au niveau national, est basé sur un échantillon par points permanent, systématique et stratifié (les points ayant une superficie d'environ 0.1 hectare et étant situés à l'intérieur de la grille nationale), qui devrait, selon les recommandations, être repris tous les 5 ou 10 ans. Pour ce qui est de la composante région urbaine, les points sont situés à des intervalles de 100, 200 ou 300 mètres selon la taille de la région urbaine et un réseau de points séparés de 600 mètres couvre le restant de la zone urbaine (soit la zone de migration alternante). Le plus fin réseau de points comprend ainsi un maximum de 100 points par kilomètre carré. En 1979 (Garnasjordet et Longva, 1979), la taille de l'échantillon aréolaire urbain a été estimée à environ 100,000, un programme spécial devait fournir des statistiques sur l'utilisation des terres et les changements d'utilisation dans les régions urbaines, au moyen de l'interprétation de photographies aériennes prises en 1955, 1965 et 1975. Au début de 1980, 150 des régions urbaines avaient été étudiées dans ce programme.

Il est important de souligner que les administrations municipales jouent un rôle important dans le travail sur le terrain, il est donc difficile de donner une estimation des coûts d'une telle stratégie. Quoi qu'il en soit, en tenant compte que plusieurs composantes financières importantes sont "cachées", le Bureau central de la statistique (Central Bureau of Statistics,

1980a) estimait à environ 1$ US le coût d'un point d'échantillonnage en 1980.

Il est à noter que les erreurs soulevées, seraient dues à un ensemble de classes d'utilisation des terres plus limité dans les petites régions urbaines à cause des échantillons relativement petits. Un des grands problèmes, en Norvège, est que l'on admet une erreur de classification de 10 % - erreur qui, combinée à l'inévitable erreur d'échantillonnage, peut facilement causer des ennuis sur le plan des degrés de précision acceptables dans les estimations, notamment en ce qui a trait aux matrices de transition dans l'utilisation des terres auxquelles les Norvégiens sont intéressés. Par contre, si l'attention ne porte pas sur la région urbaine individuelle en tant qu'unité de recensement, ces erreurs seraient moins prononcées.

Pour l'enquête nationale sur l'utilisation des terres, un échantillon par points supplémentaire couvre l'ensemble du pays. L'échantillon est permanent et la stratification repose sur des distinctions grossières entre les utilisations des terres. Les points d'échantillonnage sont espacés de 12 km au-dessus de la ligne d'arborescence et de 6 km, au-dessous. Cet espacement peut être de 1 km et de 3 km dans certaines régions. Cela donne au total, pour l'ensemble du pays, un échantillon de 7,000 points pour lesquels diverses informations sont recueillies, notamment les informations déjà existantes (par exemple, les informations du relevé national des forêts) et certaines données tirées de photos aériennes (Norway Central Bureau of Statistics, 1980a, 1980b).

Le Bureau central de la statistique de Norvège (1980a, 1980b) considère particulièrement avantageuse l'utilisation de l'échantillon ponctuel en termes de coûts, de plus, son utilisation agencée au système de classification à trois niveaux, rend plus efficace l'interprétation des utilisations des terres. Il estime aussi que la nature permanente du réseau d'échantillonnage permet d'obtenir une estimation plus précise des changements. Il est intéressant de remarquer, en pensant à la composante "Régions urbaines" du P.S.U.T.C., que la Norvège élabore un système d'échantillonnage pour ses régions urbaines. Il est également intéressant de noter que l'échantillon par points est commun aux systèmes français et norvégien, bien que le premier fait appel à une méthode d'échantillonnage stratifié à deux degrés (systématique au deuxième degré), et le second repose sur un simple échantillon systématique stratifié. Le fait que le territoire de la France soit presque 70 fois plus étendu que celui de la Norvège, est probablement un facteur important dans le choix du type d'échantillon en grappes, car il est moins coûteux.

5.2.3 (v) La Suisse

La Suisse sera notre dernier exemple pris en Europe de l'Ouest. Pays peu étendu dont la superficie est à peu près égale à celle des Pays-Bas (tableau 7), la Suisse a toujours témoigné d'un intérêt particulier pour les statistiques d'utilisation des terres. Jusqu'à tout récemment, toutes ces statistiques étaient basées sur les levés cadastraux dont les résultats ont été publiés en 1912-13, 1925, 1952 et 1972 (Kolble et Trachsler, 1980); ces données manquaient d'uniformité et couvraient le territoire

national de façon partielle. Un nouveau système de collecte de renseignements sur l'utilisation des terres a été adopté au cours des années 60. Ce système est basé sur des cartes topographiques, ce qui veut dire que la quantité d'informations disponibles est très limitée. A la fin des années 70, malgré la petite taille du pays, l'intérêt s'est accru pour la mise au point d'un système de collecte de données sur l'utilisation des terres qui puisse être mis à jour régulièrement à partir d'un échantillonnage de photographies aériennes. Bien que l'on puisse se demander pourquoi un pays si petit a choisi une méthode d'échantillonnage (voir les Pays-Bas), on doit quand même admettre que la Suisse présente une topographie très complexe et que l'exécution d'enquêtes sur le terrain prendrait beaucoup de temps.

Le gouvernement suisse a maintenant décidé de lancer une enquête nationale sur l'utilisation des terres, basée sur un échantillon ponctuel systématique tiré dans une grille de 100 mètres transférée directement sur des photographies aériennes au 1:25,000, à raison d'un cycle de 6 ans. Selon Kolble et Trachsler (1980), le traitement automatique de l'image est trop coûteux et pas assez fiable pour un pays présentant des configurations d'industrialisation complexes. Par contre, l'échantillon par points sur photographies aériennes offre une très bonne capacité d'intégration d'autres sources de données (étant donné que les données sur l'utilisation des terres sont "bien définies" géographiquement) et, comme l'échantillon doit être permanent, il permettrait d'améliorer considérablement la capacité de surveillance (plus grande précision dans l'estimation des changements). De plus, le cycle suivant la mise à jour des films d'interprétation des nouvelles photos aériennes comprendraient les codes d'utilisation des terres de l'enquête précédente, les économies réalisées pourraient être encore plus importantes. Cette option permet d'augmenter, au besoin, la densité d'échantillonnage dans certaines régions.

Les Suisses ont entrepris de tester cette méthode d'échantillonnage avant de faire leur choix. Bien qu'il soit très difficile d'évaluer les coûts d'une telle méthode à partir d'un travail expérimental (Trachsler et al., 1981), on estimait grossièrement, en 1981, à 1.9 million de francs suisses (environ 1.1 million de dollars canadiens en 1981) le coût de la première enquête sur une période de 6 ans (y compris l'achat de certains biens capitaux), et à environ 1 million de francs suisses (soit environ 0.6 million de dollars canadiens en 1981), le coût des enquêtes de mise à jour subséquentes.

La couverture de la totalité du territoire national par photographies aériennes et la densité d'échantillonnage adoptée en Suisse ne pourraient être transférées au contexte canadien, à cause des coûts que cela entraînerait. Toutefois, l'utilisation d'un échantillon ponctuel systématique, tiré de photographies aériennes à une certaine étape dans la méthode d'échantillonnage, mériterait certainement d'être étudiée (comparativement à la France et à la Norvège).

En somme, quatre grandes idées se dégagent des expériences effectuées en Europe de l'Ouest sur la collecte de données de

l'utilisation des terres. Premièrement, à cause des différentes superficies (tableau 7) et des coûts relatifs, certains aspects de ces méthodes ne peuvent être transposés au contexte canadien, si on suppose qu'il utilise la photographie aérienne traditionnelle. La photographie aérienne traditionnelle fait partie de l'inventaire complet des Pays-Bas, de l'échantillon systématique très dense de la Suisse et de la composante urbaine du programme norvégien. Deuxièmement, plusieurs approches, bien qu'elles fassent appel à une méthode d'échantillonnage et à la photographie aérienne, exigent quand même une somme importante de travaux sur le terrain; cela est coûteux, mais il est connu que la base d'échantillon aréolaire de Statistique Canada pour la collecte des données agricoles comporte également de nombreuses enquêtes annuelles sur le terrain. Un tel travail est nécessaire pour un programme de surveillance de l'utilisation des terres dépendant des variables jugées importantes. Troisièmement, la mise en oeuvre des programmes d'inventaire-surveillance gérés directement par le gouvernement national jusqu'aux administrations municipales locales, comme c'est le cas aux Pays-Bas et en Norvège et comme cela a été suggéré au Royaume-Uni, serait difficile à réaliser dans le système politique canadien. Quatrièmement, partout où un échantillonnage a été entrepris (Norvège, Suisse, France) ou proposé (Royaume-Uni), c'est l'échantillon systématique par points qui obtient la préférence, associé à l'utilisation d'un réseau permanent (Norvège, Suisse et, théoriquement, France). Cela mérite d'être considéré par le P.S.U.T.C., particulièrement dans le contexte d'un échantillonnage par grappes initial (France) qui permettrait de réduire les frais de couverture.

5.2.4 États-Unis

Aux États-Unis, trois grands organismes gouvernementaux prédominent parmi les nombreux organismes intéressés à la planification de l'utilisation des terres et à l'acquisition de données dans ce domaine.

Deux d'entre eux relèvent du ministère de l'Agriculture (U.S.D.A.) et tous les trois ont l'envergure nécessaire pour enquêter en même temps sur de nombreuses utilisations des terres.

a) Depuis 1974, le U.S. Geological Survey (U.S.G.S.) met en oeuvre un programme national de cartographie de base portant sur l'utilisation et la couverture des terres à une échelle au 1:250,000 et, de plus en plus, au 1:100,000 (Milazzo, 1981).

b) Au ministère de l'Agriculture, l'inventaire national des ressources orienté en fonction des besoins de conservation des sols et des eaux (National Resources Inventory of Soil and Water Conservation Needs program) du Soil Conservation Service (1979) a produit des données nationales en 1957, en 1967 et en 1977 (N.A.L.S., 1981b). Une étude sur les terres offrant des possibilités pour l'agriculture (Potential Cropland Study) a été entreprise en 1978 (Dideriksen, Hidlebaugh et Schmude, 1977); cette étude portait sur la conversion des terres rurales à des utilisations urbaines et hydrauliques. Deux programmes connexes, le programme d'appréciation de la loi sur la conservation des ressources - sols et eaux (Soil and Water Resource Conservation Act Appraisals (R.C.A.)), fait en 1978, et la loi

sur la planification des ressources renouvelables - forêts et pâturages (Forest and Rangeland Renewable Resources Planning Act (R.P.A.)), adoptée en 1974, devraient assurer une évaluation continue, renouvelable environ tous les 5 ans (U.S. Soil Conservation Service, 1980; U.S. Forest Service, 1980). L'enquête nationale sur les terres agricoles récemment terminée (N.A.L.S., 1981a) a permis de compiler les données sur l'utilisation des terres agricoles aux États-Unis.

c) Un autre organisme du ministère de l'Agriculture, le Service d'enquête statistique (Statistical Reporting Service), chargé d'estimer les données agricoles nationales, peut également fournir des données sur l'utilisation des terres recueillies au moyen d'une méthode d'échantillonnage très perfectionnée.

Ces deux organismes du ministère américain de l'Agriculture font appel à des échantillonnages à plusieurs degrés. Chaque États réalisent des strates d'utilisation/ couverture des terres générales au niveau des comtés et des sous-régions de comtés.Toutefois il se dégage de l'ensemble une impression générale de chevauchement d'efforts et d'inconsistance dans les classifications d'utilisation/ couverture des terres. Seul le U.S. Geological Survey produit des cartes réalisées principalement à partir d'imagerie à haute altitude. Nous analysons ci-dessous plus en détail deux de ces trois programmes.

Divers programmes de cartographie des utilisations des terres habituellement associés à des préoccupations d'ordre écologique existent également au niveau des États, mais il est inutile de faire une évaluation quelconque de cette étude. Les États d'Hawaii et d'Orégon ont adopté des programmes de planification de l'utilisation des terres, s'étendant sur tout leur territoire, qui insistent particulièrement sur la protection des terres agricoles, ainsi que sur la surveillance de l'utilisation des terres qui s'ensuit (Bryant et Russwurm, à paraître en 1982). D'autre part, le Soil Conservation Service a entrepris, au niveau des États, des inventaires des ressources par échantillonnage (par exemple, en Louisiane) (U.S. Soil Conservation Service, 1980), conformément aux objectifs du RCA.

5.2.4 (i) Le programme du service d'enquête statistique

Parmi les programmes américains que nous avons examinés, c'est celui du Service d'enquête statistique (Statistical Reporting Service) qui semble présenter le plus d'intérêt pour le P.S.U.T.C., au point de vue de la surveillance des utilisations des terres rurales aux niveaux national et provincial, tout en demeurant assez souple pour permettre d'intégrer des données à l'échelle sous-provinciale. Ce programme, encore en rodage, fait appel à une méthode d'échantillonnage aréolaire hiérarchique à plusieurs degrés; son origine remonte toutefois à la fin des années 30 (Houseman, 1975). Ce programme a une application pratique et prévoit des contrôles statistiques rigoureux (par exemple, Fecso et Johnson, 1981). Le caractère dominant de ce programme est l'utilisation des terres agricoles (notamment en vue de produire des estimations statistiques fiables des données sur l'agriculture et le bétail, aux niveaux national, régional et de l'État) plutôt que l'utilisation des terres en général. Il

prévoit également la tenue d'interviews sur le terrain (voir le programme comparable d'enquête statistique agricole de Statistique Canada).

La méthode globale consiste à effectuer un échantillonnage aréolaire de base plutôt qu'un échantillon à partir d'une compilation d'exploitations agricoles, bien que certaines "grosses" exploitations fassent l'objet d'une enquête spéciale en raison d'un taux de probabilité de 1, comme c'est le cas dans le programme comparable de Statistique Canada. Il s'agit donc d'une méthode à bases multiples. La base aréolaire utilisée consiste en une approche à plusieurs degrés, combinant la stratification [illegible]es composantes de l'échantill[illegible] par grappes aléatoires. Le programme comporte des contraintes opérationnelles : les États constituent les entités organisationnelles essentielles et des entrevues sur le terrain doivent être menées dans certaines grappes aréolaires choisies (Fesco et Johnson, 1981). Les échantillons sont organisés par État, et les résultats sont réunis pour donner les totaux nationaux. Des recensements annuels sont effectués chaque mois de juin pour toutes les principales caractéristiques agricoles à l'aide de la base aréolaire. L'échantillonnage aréolaire est combiné à un échantillon sur liste pour les très grosses exploitations et les cultures spécialisées, afin de démontrer adéquatement des phénomènes survenant moins fréquemment et de façon irrégulière.

Dans la base aréolaire, la répartition aréolaire va de la strate d'utilisation des terres générales jusqu'aux segments (cases) aréolaires de ladite strate, à l'intérieur desquels les entrevues sur le terrain sont effectuées. Pour l'ensemble des États-Unis, 25 strates standard ont été définies à partir de catégories générales d'utilisation des terres (tableau 8). Chaque État utilise ensuite les strates pertinentes ou des versions modifiées de ces strates (liste figurant dans le U.S.D.A. Statistical Reporting Service Manual 1981). En Californie, une expérience d'avant-garde, lancée en 1979, comportait l'emploi de l'imagerie Landsat pour la détermination des strates d'utilisation des terres (Fesco et Johnson, 1981).

Les strates de chacun des États sont divisées en segments (cases ou unités aréolaires) et ceux-ci sont parfois divisés en bandes plus petites. Ces segments (unités aréolaires) sont choisis dans les strates au moyen d'échantillon aléatoire ou systématique. Habituellement, les limites de comtés sont respectées et les strates théoriques (combinaison géographique de segments homogènes) peuvent être utilisées comme sous-strates, afin de réduire toute variance éventuelle. On tente également de définir des unités de dénombrement (basées sur le nombre d'exploitations agricoles) avant d'établir les segments, afin de minimiser les différences de taille entre les segments. Ces unités de dénombrement sont plus étendues que les segments et peuvent comprendre plusieurs comtés homogènes ou seulement une partie d'un comté (Pratt, 1974; Houseman, 1975). Ces unités ne sont pas utilisées comme strates d'échantillonnage, mais servent à améliorer la délimitation des segments.

La méthode d'échantillonnage aréolaire est de toute évidence à la fois générale et particulière. Sa nature générale (par exemple, les strates d'utilisation des

TABLEAU 8

STRATES STANDARD D'UTILISATION DES TERRES UTILISÉES DANS LA BASE DE DONNÉES D'ÉCHANTILLONNAGE AGRICOLE DES ÉTATS-UNIS

	Strate	Définitions
Terres de culture	10	Cultures sèches 33% ou plus de superficie cultivée
	11	Plus de 75% de superficie cultivée
	12	50 - 75% de superficie cultivée
	13	50% ou plus de superficie cultivée
	14	50% ou plus de superficie cultivée, 50% du total des terres irriguées
	15	50% ou plus de superficie cultivée, 25 - 50% de terres irriguées
	16	50% ou plus de superficie cultivée, 10 - 25% de terres irriguées
	17	Vergers
	18	Vignobles
	19	Culture des légumes
	20	15 - 49% de superficie cultivée
	21	33 - 50% de superficie cultivée
	22	10 - 33% de superficie cultivée
Cités et villes	31	Zones rurales-urbaines, plus de 20 habitations par mille carré, usages résidentiels et agricoles mélangés
	32	Zones résidentielles-commerciales, plus de 20 habitations par mille carré
	33	Zones fortement urbanisées, plus de 20 habitations par mille carré
Pâturages	41	Pâturages dont moins de 15% sont cultivés
	42	Terres boisées ou pâturages dont moins de 15% sont cultivés
	43	Grands pâturages désertiques dont moins de 15% sont cultivés
	44	Pâturages publics - pratiquement aucune culture
	45	Terres publiques - aucune activité agricole connue
Non agricole	50	Non agricole
Eau	61	Projet d'aménagement hydraulique - lacs, réservoirs, canaux
	62	Présence d'aménagements hydrauliques - lacs, rivières, canaux, etc.
	63	Marais

Source: U.S.D.A. Statistical Reporting Agency, 1981, p. 504.

terres) permet de garder la majeure partie de la base aréolaire à mesure que les changements d'utilisation se produisent. Cela est important, car les bases d'échantillonnage aréolaire sont souvent coûteuses à établir au départ (par exemple quelqu'un a estimé à quatre années-personnes le temps nécessaire à l'établissement d'une base d'échantillonnage aréolaire pour les régions agricoles du Canada (Wigton et Bormann, 1978).

Les États peuvent varier les modalités d'application du programme, ce qui permet à chacun d'eux d'exercer un meilleur contrôle statistique sur les erreurs d'échantillonnage. Un certain nombre d'États utilisent l'échantillon répété, systématique ou aléatoire, pour obtenir des échantillons dont la taille est juste suffisante pour les limites de confiance adoptées (Pratt, 1974; Fecso et Johnson, 1981). Étant donné la nature générale du programme, il est possible d'utiliser toutes les sources connues de renseignements auxiliaires (cartes, données de recensement, etc.) afin de réduire la variance à l'intérieur des strates et des segments; ce genre d'exercice pratique est conseillé par les documents statistiques orientés vers la pratique (par exemple, Blalock (1960) et Kish (1965)). Une des caractéristiques les plus importantes du programme est la façon dont la taille des segments peut être modifiée de manière à refléter la nature des utilisations des terres agricoles; ainsi, dans les secteurs soumis à des cultures intensives, on peut découper des segments de petite taille (de un demi à deux milles carrés), tandis que dans les pâturages et les secteurs boisés, les segments choisis peuvent être beaucoup plus vastes (de 1 à 100 milles carrés).

Sur l'ensemble du territoire des États-Unis, 16,000 segments d'échantillonnage sont recensés chaque année sur un total d'environ 3 millions, soit environ la moitié de 1 % du total. À peu près 20 % des segments sont remplacés d'une année à l'autre (Wigton et Bormann, 1978). L'erreur type relative (coefficient de variation) pour les principaux caractères se situe entre 2 et 4 % aux niveaux national et régional, et entre 3 et 12 % au niveau de l'État (U.S. Statistical Reporting Service, 1981).

En ce qui concerne le P.S.U.T.C., l'approche hiérarchique par grappes adoptée dans ce programme américain d'échantillonnage aréolaire présente un intérêt particulier pour la surveillance de l'utilisation des terres à l'échelle nationale. Bien que la caractéristique de remise ne semble pas particulièrement appropriée lorsque les données sur l'utilisation des terres sont dérivées essentiellement de données de télédétection, les caractéristiques générales de la stratification et du groupement en grappes sont importantes. Elles ressemblent d'une certaine façon au système français, malgré les différences dans les données recueillies et dans la délimitation des grappes.

5.2.4 (ii) Le programme de cartographie du Service géologique

Le programme du Service géologique est différent de celui du P.S.U.T.C. car il prévoit la production continue de cartes du genre topographique, il s'intéresse quand même à la surveillance du fait qu'il fait appel au critère de changement plutôt qu'à celui du temps écoulé pour mettre les cartes

à jour. Malgré la différence entre cet intervalle temporaire variable et les modalités et intentions actuelles du P.S.U.T.C., il pourrait éventuellement présenter un certain intérêt pour le P.S.U.T.C. Il semble toutefois qu'on pourrait plus efficacement utiliser les ressources en admettant différents taux de changement dans les régions rurales.

Comment les "changements" peuvent-ils être détectés à cette fin? A la U.S.G.S., toute une gamme de critères a été suggérée (Milazzo, 1980) pour déterminer les cartes qui doivent faire l'objet d'une photo-inspection initiale superficielle en vue de déterminer les besoins de mise à jour. Il s'agit de grouper les cartes en fonction des "changements potentiels", d'après l'utilisation dominante des terres. L'utilisation et la couverture des terres ont été cartographiées à l'aide des catégories de niveaux I et II (tableau 9); selon les caractéristiques d'utilisation dominante, cinq grandes catégories de "zone de changement potentiel" ont été proposées (Milazzo, 1981), ainsi qu'une fréquence de mise à jour (tableau 10). D'autres zones peuvent être mises à jour en fonction des priorités actuelles (par exemple, les zones qui ont connu des changements radicaux ou catastrophiques), ainsi qu'en fonction de la date de la dernière mise à jour et inspection photographique.

Lorsque les cartes sont choisies, la photo-inspection aide à déterminer celles qui doivent être mises à jour. Le balayage multispectral Landsat, malgré les erreurs importantes qu'il peut produire, est considéré comme la meilleure méthode pour détecter les changements bruts dans l'utilisation et la couverture des terres, et faciliter le choix des cartes à mettre à jour (cartes compilées à la main) (Milazzo, 1980).

Bien que la fonction du U.S.G.S. soit de produire des cartes, la typologie des changements potentiels (une stratification) présente une certaine ressemblance avec les domaines du P.S.U.T.C., comme les régions urbaines, les terres de choix, les terres rurales et les terres sauvages. Ainsi, les cycles de 5 ans pour fins de surveillance dans les régions urbaines et de 10 ans pour le domaine rural adoptés par le P.S.U.T.C., peuvent être justifiés par les taux présumés de changement dans l'utilisation des terres. L'utilisation recommandée de l'imagerie Landsat pour détecter les changements bruts, qui permettent de déterminer les secteurs demandant une recherche plus poussée (mise à jour des cartes dans le cas du U.S.G.S.) a un rôle évident à jouer dans un programme de surveillance. Même en tenant compte de l'état actuel de la technologie, elle peut déterminer les priorités d'investigation de certaines terres d'importance primordiale pour les ressources. Les recherches poursuivies aux États-Unis et ailleurs, sur la détection des changements à l'aide des données numériques Landsat (Howarth et Wickware, 1981; Schwarz et Gaydos, 1975; Todd et Gehring, 1980), sur l'exactitude des classifications effectuées à partir des données Landsat (Howarth, 1982; Fitzpatrick-Lens, 1981; Stow et Estes, 1981; Hord et Brooner, 1976), ainsi que sur les diverses applications du Landsat telles que l'estimation des cultures (Hixson et al., 1981; Curtis, 1978), laissent espérer qu'un jour les données Landsat joueront un rôle

TABLEAU 9

SYSTÈME DE CLASSIFICATION DE L'UTILISATION ET DE LA COUVERTURE DES TERRES DU UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY UTILISANT DES DONNÉES DE TÉLÉDÉTECTION

Niveau I	Niveau II	
1. Terres urbaines ou construites	11	Résidentiel
	12	Commercial et services
	13	Industriel
	14	Transport, communication et services
	15	Complexes industriels et commerciaux
	16	Terres urbaines ou construites mixtes
	17	Autres terres urbaines ou construites
2. Terres agricoles	21	Cultures et pâturages
	22	Vergers, plantations, vignobles, pépinières et secteurs horticoles ornementaux
	23	Exploitations d'affouragement confinées
	24	Autres terres agricoles
3. Pâturages	31	Pâturages d'herbacées
	32	Pâturages de buissons et d'arbustes
	33	Pâturages mélangés
4. Terres forestières	41	Terres forestières feuillues
	42	Terres forestières - conifères
	43	Terres forestières mélangées
5. Eau	51	Cours d'eau et canaux
	52	Lacs
	53	Réservoirs
	54	Baies et estuaires
6. Terres humides	61	Marais boisés
	62	Marais non boisés
7. Terres stériles	71	Pans arides
	72	Plages
	73	Zones sableuses autres que plages
	74	Roches exposées nues
	75	Exploitations minières à ciel ouvert, carrières et gravières
	76	Secteurs en transition
	77	Terres stériles mélangées
8. Toundra	81	Toundra de buissons et d'arbustes
	82	Toundra d'herbacées
	83	Toundra nue
	84	Toundra humide
	85	Toundra mixte
9. Neige éternelle ou glace	91	Champs de neige éternelle
	92	Glaciers

Source: Tiré de Anderson et al., 1976, reproduit dans Milazzo, 1981, tableau1, p. 3.

TABLEAU 10

SECTEURS DE CHANGEMENT POTENTIEL DANS L'UTILISATION/COUVERTURE DES TERRES SELON LE UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY

Utilisation/couverture des terres	Catégories de niveau II*	Cycle de mise à jour (années)
Zone urbaine ou en voie d'urbanisation	Terres urbaines/construites (11-17); terres en transition (76)	5-7
Milieu critique	Eau (51-54) marais (61,62) plages (72)	7-10
Zones de ressources énergétiques	Exploitations minières à ciel ouvert (75); carrières - gravières (75);	
	Terres en transition (76)	7-10
Terres agricoles, pâturages et forêts	Terres agricoles (21-24); pâturages (31-33)	
	Forêts (41-43)	10-15
Zones stables	Terres stériles (71, 73, 74, 77); toundra (81-85);	
	Neige-glace (91-92)	15-20

*Les nombres se rapportent au code de classification donné au tableau 9.

Source: D'après Milazzo, 1981, tableau 2, p. 7.

majeur dans la surveillance systématique de l'utilisation des terres.

Il semble que de nombreux pays soient très intéressés par la mise au point d'inventaires fiables des utilisations des terres et de programmes de surveillance de ces utilisations (tableau 7). L'échantillonnage est une méthode largement reconnue comme système de collecte de données, malgré la nécessité de contrôler le degré de précision obtenu. Les programmes examinés ont été élaborés en fonction d'une grande variété de conditions (superficie du pays, la population, structure économique, structure politique). Il est par conséquent difficile de les transposer directement d'un pays à l'autre. Dans plusieurs cas, les administrations municipales ou les organismes régionaux des gouvernements nationaux jouent un rôle important dans le processus. Aux Pays-Bas, ainsi qu'en Norvège, les estimations des coûts bruts données dans la documentation ne semblent pas tenir compte de "coûts cachés" importants défrayés par d'autres organismes gouvernementaux.

La superficie du pays exerce également une influence dans la détermination des méthodes possibles (comparons la Suisse et le Canada). Dans ce cas, il est important de comparer, non pas la superficie totale des terres du Canada, mais la superficie couverte par le secteur rural ou "agricole" (tableau 7); de cette façon, le secteur rural du Canada représente environ 2 ¼ fois la superficie de la France. Les programmes des deux pays les plus étendus que nous avons étudiés (les États-Unis et la France) comportent tous deux une approche par grappes, approche que tout programme de surveillance dans les régions rurales au Canada devrait inévitablement adopter (voir le programme actuel de Statistique Canada pour l'estimation des cultures et du bétail). Ainsi, en prenant la densité minimale de photographies aériennes qui a été utilisée dans l'enquête agricole annuelle effectuée en France (une photographie à l'échelle 1:25,000 représentant en gros 3.25 km^2 par case de 12 km x 12 km), il faudrait un peu plus de 8,000 photographies pour couvrir l'ensemble du territoire agricole canadien. En utilisant la densité utilisée en France, une photographie par 67 km^2, le nombre de photographies nécessaires au Canada serait d'environ 18,000; en prenant la densité la plus élevée utilisée tous les 3 ans, soit une photo par 36 km^2, il faudrait un peu plus de 33,000 photographies pour couvrir l'ensemble du secteur agricole canadien.

La stratification est une caractéristique courante de plusieurs des programmes que nous avons examinés, par contre il est difficile de s'assurer exactement comment les strates ont été définies à cause des lacunes de la documentation et, dans certains cas, de la nature des programmes en cours d'élaboration. L'échantillon par points permanents, utilisé comme unité d'échantillonnage de base ou comme unité d'échantillonnage du deuxième degré, est également un élément populaire de ces programmes, l'échantillon permanent permet d'obtenir une plus grande précision dans l'estimation des changements, et l'échantillon ponctuel est supposé réduire l'ambiguïté de la classification et fournir un moyen plus efficace d'intégrer les données d'utilisation des terres aux autres sources de données.

Malheureusement, il est difficile d'évaluer rétroactivement ces programmes de surveillance de l'utilisation des terres dans les régions rurales du Canada. Ces programmes sont encore au stade de la mise en oeuvre (par exemple le programme norvégien), ou ne sont pas précisément conçus pour fournir des données générales sur l'utilisation des terres générales (par exemple, les programmes du U.S.D.A.). Toutefois, il est possible d' évaluer les aspects qui semblent offrir le plus d'intérêt au P.S.U.T.C. Ces aspects sont énumérés dans la première recommandation générale du dernier chapitre. D'autres recommandations sont faites sur la nature des recherches subséquentes qui s'imposent, pour mettre au point un système de surveillance de l'utilisation des terres dans les régions rurales canadiennes.

6. RECOMMANDATIONS SUR LA RECHERCHE FUTURE EN MATIÈRE DE SURVEILLANCE DE L'UTILISATION DES TERRES DANS LE CADRE DU PROGRAMME DE SURVEILLANCE DE L'UTILISATION DES TERRES AU CANADA

Après avoir étudié les expériences tentées en Europe de l'Ouest et aux États-Unis ainsi que la documentation pertinente, il nous est possible de faire un certain nombre de recommandations sur les types de choix pratiques, proposés dans les documents du P.S.U.T.C., pour un éventuel programme de surveillance de l'utilisation des terres (P.S.U.T.C.) du Canada de même que sur l'ordre des priorités en matière de recherche dans ce domaine.

6.1 Recommandations portant sur les suggestions en matière d'application du programme de surveillance de l'utilisation des terres au Canada

La stratification. Comme nous l'avons souligné au chapitre 2, les volets du P.S.U.T.C. portant sur les régions urbaines et les terr ; de choix ont déjà démarré. Une première stratification a été adoptée, la stratification entre les régions urbaines, les terres rurales et les terres sauvages, les terres de choix peuvent se trouver dans l'un ou l'autre de ces domaines. Étant donné la superficie rurale totale, il est recommandé de laisser de côté, pour la collecte des données à l'échelle nationale et provinciale, la distinction entre région urbaine et région rurale, car il n'a pas été démontré statistiquement que cette distinction est reliée aux changements dans l'utilisation et la couverture des terres au pays. En effet, pour ce qui est du secteur agricole, des recherches récentes ont fait apparaître des points communs entre les changements de type agricole dans la zone urbaine et les terres intérieures rurales (par exemple, Bryant et Russwurm, 1981).

Le principe général de classification qui sous-tend les domaines couramment utilisés est attrayant et l'accent mis sur les régions urbaines dans ce domaine particulier est important. Toutefois, du point de vue de la stratification, il semble préférable, a priori, de ne pas accepter de telles définitions. Dans tous les cas, les caractéristiques d'utilisation et de changement d'utilisation des terres, déterminées au moyen de l'inventaire complet des régions urbaines, devraient encore servir à compiler les statistiques provinciales et

nationales sur l'utilisation des terres. Ces régions représenteraient simplement une base de données d'échantillonnage aréolaire distincte, à partir de laquelle les objets (les régions urbaines) seraient échantillonnés avec une probabilité de 1. La base elle-même serait intégrée à une base de données d'échantillonnage aréolaire plus vaste portant sur l'ensemble du domaine rural.

Les niveaux de recensement. Comme il se doit, le P.S.U.T.C. recueille des statistiques au niveau de l'ensemble du pays, des principales régions et des provinces. Ces dernières deviennent les principaux blocs organisationnels de tout programme de surveillance de l'utilisation des terres rurales. Au-dessous du niveau provincial, la stratification est une nécessité, comme le démontre l'étude sur les programmes étrangers. Il faudrait toutefois prendre soin de définir les strates, pour qu'elles puissent être facilement utilisées comme base de recensement à un niveau plus restreint, c'est-à-dire qu'il soit possible de les grouper ou de les diviser pour définir des unités de recensement utiles. L'utilisation des grandes unités administratives ou de recensement est recommandée.

Le cadre temporel. Le cycle de 5 ans, adopté pour les régions urbaines, et le cycle suggéré de 10 ans, pour le domaine rural, offrent indéniablement un certain attrait puisqu'ils reflètent les notions de fréquence potentielle de changement et de besoin de mise à jour. Il est recommandé, cependant, de faire varier au besoin la longueur du cycle appliqué au domaine rural en fonction des taux de changement réels ou, faute de mieux, potentiels.

Classification de l'utilisation et de la couverture des terres. Étant donné l'utilisation des données de télédétection, qui au début étaient des photographies aériennes à échelle moyenne, et compte tenu de l'échelle très large des unités de recensement, les classes les plus importantes devraient se situer au niveau suggéré par les classes énumérées au tableau 1. Selon la configuration et l'ampleur particulière du changement, on peut parfois obtenir un niveau de détail plus poussé pour certaines unités de recensement.

Les utilisations importantes des terres. L'accent sur les classes plus générales permet d'éviter certains des problèmes statistiques associés aux utilisations des terres peu étendues à des niveaux plus fins de la classification. Toutefois on devrait se pencher davantage sur la détermination des utilisations de faible ampleur qui pourraient être importantes aux plans économique, social ou écologique. Elles devraient être surveillées d'une façon ou d'une autre (par exemple au moyen d'un cadastre).

6.2 Structure générale d'un programme de surveillance de l'utilisation des terres rurales

Cinq suggestions d'ordre général ont été faites concernant la création d'un réseau d'échantillonnage valide (Sayn-Wittgenstern et Aldred, 1976).

a) Le plan d'échantillonnage doit être statistiquement rigoureux et permettre une estimation des erreurs d'échantillonnage.

b) La définition et l'emplacement des points (c'est-à-dire des unités d'échantillonnage) ne devraient pas nécessiter de changements importants avec le temps.

c) Il est nécessaire de faire une classification précise des utilisations et de recourir à des techniques de mesure standardisées.

d) L'utilisation de probabilités constantes facilite le passage à des aires plus petites hors du cadre national lorsque le besoin s'en fait sentir, bien que cela ne soit pas essentiel.

e) Un échantillon à plusieurs degrés est habituellement nécessaire pour relier efficacement les données à d'autres sources de données, par exemple, les données de recensement.

Kolble et Trachsler (1980) soulignent l'importance du système de classification et la nécessité de définir précisément les données du point de vue géographique de façon à faciliter le lien éventuel à d'autres sources de données. Comme tout programme de surveillance de l'utilisation des terres ne peut constituer une entreprise à long terme, il faut tenir compte des changements probables dans la technologie de la collecte de données (notamment l'imagerie satellite) et prévoir une façon d'incorporer ces nouvelles techniques dans le programme.

Six grandes recommandations sont faites pour tout programme de surveillance de l'utilisation des terres rurales au Canada.

a) La taille des échantillons doit être déterminée, et la stratification entreprise, dans les provinces. Cela se traduit par des besoins en échantillonnage plus importants que si c'était l'ensemble du pays qui constituait le seul objet d'intérêt. Ces besoins sont toutefois moins importants que si le niveau de recensement choisi se situait à un échelon inférieur (sous-provincial).

b) La stratification au niveau sous-provincial est indispensable dans la plupart des provinces. La nature des critères doit faire l'objet de recherches supplémentaires (voir chapitre 6.3) puisqu'on connaît mal le lien entre les facteurs de stratification et les changements dans l'utilisation et la couverture des terres (contrairement à l'utilisation des terres à un moment donné dans le temps).

c) Pour augmenter la souplesse du système, advenant la possibilité d'intégrer d'autres sources de données, les strates doivent être définies au moyen d'unités telles que les divisions de recensement. Ces divisions, dans un contexte national, sont en général homogènes et on possède à leur sujet une abondante information.

d) A cause de la vaste étendue du Canada et de plusieurs des provinces, un échantillon à plusieurs degrés est recommandé, basé sur un premier échantillon par grappes (cases, segments) à l'intérieur de chaque strate (voir le programme du U.S.D.A. Statistical Reporting Service et le programme de la France). A l'intérieur des strates, la détermination de ces grappes dans une grille offre des

avantages considérables. Le choix des grappes peut être systématique (voir le programme de la France) ou aléatoire; leur taille n'a pas besoin d'être uniforme dans tout le pays (voir la taille des segments (grappes) dans la base d'échantillonnage aréolaire du U.S.D.A.). Il serait avantageux de déterminer la taille, en fonction du degré de complexité de l'utilisation des terres, et des processus d'utilisation des terres considérés, dans une strate donnée. Comme nous le constatons dans notre revue, diverses tailles sont utilisées pour les grappes dans les programmes étrangers. Cette variété est très prononcée dans le programme du U.S.D.A. Statistical Reporting Service, allant de la case de 3.25 km^2, représentée par les points choisis systématiquement sur une photographie échantillonnée (la grappe) dans le programme français, à la case de 6 km^2 x 6 km^2, choisie par Bircham (1979) dans son analyse des besoins en échantillon au Canada. Bircham (1979) a observé que, pour un degré de précision et une ampleur d'utilisation des terres donnés, le nombre de grappes nécessaires était inversement proportionnel à la taille de la grappe (cases de la grille). Il a également remarqué que l'aire totale échantillonnée augmentait considérablement lorsque la grappe était étendue, ce qui entraînait une augmentation des coûts de la photographie. Ainsi, lorsque l'on utilise la photographie aérienne traditionnelle, la taille minimale ne devrait pas être inférieure à celle adoptée par le programme français. La taille réelle devrait probablement refléter d'autres considérations d'ordre pratique telles que les coûts de la photographie et les vérifications sur le terrain, puisque dans un échantillon à plusieurs degrés (c'est-à-dire dans le cas de l'estimation de plusieurs utilisations des terres), les erreurs d'échantillonnage réelles changent selon les différentes utilisations. Le groupement en grappes serait compatible tant avec l'utilisation de la photographie aérienne classique qu'avec les données Landsat.

e) On peut également entreprendre un échantillonnage (par exemple, lorsque la photographie aérienne traditionnelle est utilisée) à l'intérieur des grappes échantillonnées. Il serait avantageux de comparer un inventaire complet des grappes échantillonnées par rapport à un échantillon par points.

f) Étant donné la nature des changements dans l'utilisation des terres rurales, l'établissement d'un réseau de sondage permanent est indiqué. Ceci est appuyé par les exemples de la France, de la Norvège et de la Suisse, ainsi que la proposition qui a été faite au Royaume-Uni (Dickinson et Shaw, 1977). Dans les régions rurales, un cycle de 10 ans semble le plus approprié mais les taux de changement et les liens éventuels sont à faire avec les années de recensement. Eventuellement, il serait utile de faire varier la longueur de ce cycle selon les taux de changement observés (ou présumés au départ), et d'utiliser un intervalle qui soit un multiple de 5 ans, afin de permettre

l'intégration des données de recensement.

Ces considérations générales devraient permettre de définir un réseau exhaustif tout en continuant d'assurer une certaine souplesse permettant de passer à d'autres niveaux de recensement et d'intégrer d'autres sources de données.

6.3 Les recherches futures en matière de surveillance de l'utilisation des terres

Les développements dans la technologie Landsat. Il est évident que l'analyse des données numériques Landsat a un rôle à jouer dans un programme de surveillance de l'utilisation des terres. A l'heure actuelle, son rôle est modéré à cause des problèmes de classification que l'on rencontre, mais l'analyse peut être un moyen efficace pour détecter les changements bruts dans l'utilisation des terres.

Si on élimine le facteur coût, l'analyse des données Landsat semble être l'instrument idéal pour obtenir l'information basée sur la stratification et surveiller en détail les changements dans l'utilisation/couverture des terres. Elle pourrait certainement être utilisée dans les études géographiquement plus limitées des secteurs très riches en ressources pour établir les sites d'étude prioritaires.

Il est évident que les possibilités de cette source de données évoluent; c'est pourquoi il est recommandé que le P.S.U.T.C. tienne compte de ces changements, et encourage la recherche visant à relier l'analyse de la détection des changements à l'analyse de la photographie aérienne de type traditionnel.

La stratification. La stratification au niveau sous-provincial est une nécessité. Le principal obstacle à surmonter dans ce domaine est celui de l'absence de recherche portant sur les changements d'utilisation des terres comme "variable dépendante", même si l'on dispose d'une foule de critères de stratification "plausibles" tels que les paramètres du milieu naturel, l'utilisation et la structure des terres agricoles, la structure de la population et le rapport du complexe urbain-industriel. En fait, il s'agit de l'éternel problème de "la poule ou l'oeuf". Pour procéder à une stratification en vue de la détection des changements dans l'utilisation des terres, il faut avoir analysé le lien unissant les critères utilisés et le changement, mais pour faire cela, il faut théoriquement acquérir des données sur ce changement. Un certain nombre d'approches acceptables ont été proposées pour faire face à ce problème, et sont valables jusqu'à un certain point.

Premièrement, il est possible d'entreprendre un programme de surveillance avec une base sommaire. Après le premier cycle de mesurage des changements, des analyses peuvent être effectuées sur les caractéristiques des unités et des changements échantillonnés, l'information recueillie peut servir à une stratification subséquente nécessitant le choix de nouvelles unités d'échantillonnage dans certaines strates. En pratique, ce type d'amélioration est apporté au programme à mesure que l'information se raffine.

Deuxièmement, une première stratification peut être tentée au moyen d'une analyse de

détection des changements à partir des données Landsat. Les coûts et les problèmes de classification posés par cette option la rendent cependant difficile d'accès à l'heure actuelle.

Troisièmement, une analyse peut être entreprise en vue de comparer entre elles, les stratifications obtenues au moyen d'un certain nombre de critères différents (par exemple des paramètres physiques, les données du recensement agricole), ou de déterminer, par des essais, les similitudes des "stratifications" existantes (par exemple les écorégions, les districts de recensement agricole). Une telle analyse permettrait de dégager les principaux types de changement dans l'utilisation et la couverture des terres susceptibles de survenir dans les régions rurales, de voir si ces types de changement peuvent effectivement être déterminés au moyen du système de classification courant, et d'élaborer un cadre de base raisonnée qui relierait ces changements aux principaux indicateurs (critères de stratification). Les indicateurs choisis peuvent ensuite être analysés indépendamment et collectivement, et les strates obtenues pourrait être comparées. Il y aurait certainement avantage à mettre ce type d'analyse en oeuvre dans une province. En même temps, les utilisations qui n'ont pas assez d'ampleur pour être efficacement échantillonnées, mais pour lesquelles on juge important d'obtenir des données, devraient être déterminées afin que d'autres méthodes soient mises au point pour les surveiller.

Autres méthodes d'échantillonnage. Comme nous l'avons souligné, l'aspect le plus important d'un plan futur d'échantillonnage, pour la surveillance de l'utilisation des terres, est probablement la stratification. Compte tenu des commentaires faits au chapitre 6.1, d'autres aspects de la question devraient également faire l'objet de recherches supplémentaires : la forme de la grappe échantillonnée, la taille de cette grappe et la question à savoir si la grappe devrait faire l'objet d'un inventaire complet, ou si elle devrait être échantillonnée sur la base d'un échantillon par points. Il est recommandé que ces questions soient étudiées, à titre de priorité secondaire suivant l'étude des facteurs de stratification, au moyen de tests effectués dans une région particulière, pour laquelle nous disposons de données sur l'utilisation et la couverture des terres pour deux périodes consécutives. A l'heure actuelle, quelques régions urbaines répondent à ces conditions. Toutefois, leur taille est plutôt petite si on les compare à l'échelle provinciale et nationale. Cela peut poser certains problèmes pour l'évaluation des différentes tailles de grappe ou de case. Certains principes peuvent être vérifiés en comparant l'inventaire complet des cases échantillonnées et l'échantillonnage à l'intérieur de ces cases. Il serait utile d'évaluer les coûts en termes de temps d'interprétation nécessité par chaque méthode, mais cela exige de travailler à partir de vraies photographies aériennes plutôt qu'à partir de données déjà traitées.

Enfin, il est recommandé que tout P.S.U.T.C. maintienne un contact étroit avec les programmes internationaux les plus pertinents, notamment les programmes français et norvégien et, à un moindre degré, le programme suisse. L'échantillonnage aréolaire du U.S.D.A., notamment dans ces récentes versions mises au point en

Californie et intégrant la technologie Landsat, mériterait également d'être étudié de près. La durée effective des programmes de surveillance est si courte, particulièrement en Europe de l'Ouest, qu'il est urgent d'établir des liens directs avec leurs responsables, de façon à pouvoir profiter de leur expérience dès le début de la mise en oeuvre de tous les programmes futurs de surveillance au Canada.

BIBLIOGRAPHIE

ADENYI, P.O. 1980. Land use change analysis using sequential aerial photography and computer techniques. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 46 (11): 1447-64.

ANDERSON, J.R., HARDY, E.E., ROACH, J.T. et WITMER, R.E. 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. U.S.G.S. Professional Paper 964. U.S. Geological Survey, Washington.

BALLUT, A., DELAVIGNE, R. et LENCO, M. 1980. Utilisation d'images satellites pour décrire l'état et le suivi de l'occupation du sol et de la végétation en Ile-de-France. Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile-de-France, Paris.

BERRY, B.J.L. 1962. Sampling, coding and storing flood plain data. Agricultural Handbook 237, Farm Economics Division, Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture, Washington.

BERRY, B.J.L. et BAKER, A.M. 1968. Geographic sampling, pp. 91-100 in Berry, B.J.L. and d Marble, D.F. (eds.). Spatial analysis: a reader in statistical geography. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

BIRCHAM, P. 1979. Sampling methodology study for land use monitoring in Canada: a detailed methodology and data report. Rapport interne, Division de la Surveillance de l'Utilisation des Terres, Direction Générale des Terres,Environnement Canada, Ottawa.

BLALOCK, H.M., Jr. 1960. Social statistics. McGraw-Hill, New York.

BRYANT, C.R. et RUSSWURM, L.H. 1981. Agriculture in the urban field, Canada, 1971 to 1976, pp. 34-52 in Beesley, K.B. and Russwurm, L.H. (eds.). The Rural-Urban Fringe: Canadian Perspectives. Geographical Monograph No. 10. Department of Geography, Atkinson College, York University, Toronto.

BRYANT, C.R. et RUSSWURM, L.H. 1982. North American farmland protection strategies in retrospect. GeoJournal, à venir.

BULLETIN INTERMINISTÉRIEL DU MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE. 1974. L'inventaire forestier national: objectifs, méthodes, B.J.M.A. 633, Ministère de l'Agriculture, Paris.

COCHRAN, 1953. Sampling techniques (1st. edn.). Wiley, New York.

COCHRAN, W.G. 1963. Sampling techniques (2nd. edn.). Wiley, New York.

CURTIS, L.F. 1978. Remote sensing systems for monitoring crops and vegetation. Progress in Physical Geography 2(1): 55-79.

D.S.U.T. (Division de la Surveillance de l'Utilisation des Terres). 1980a. Framework for a Canada land use monitoring program. Document interne préparé par le P.S.U.T.C. Régional/Comité de l'Administration Centrale. Division de la Surveillance de l'Utilisation des Terres, Direction Générale des Terres, Environnement Canada, Ottawa.

D.S.U.T. 1980b. P.S.U.T.C., Document de travail. Division de la Surveillance de l'Utilisation des Terres, Direction Générale des Terres, Environnement Canada, Ottawa.

DE BRUIJN, JR.C.A. 1979. Input of air-photo and remote sensing data into urban information systems. Document présenté au 7e Symposium Européen sur des Données d'Aménagement Urbain, The Hague.

DICKINSON, G.C. et SHAW, M.G. 1977. Monitoring land use change: some theoretical considerations and a workable solution. PRAG Technical Paper TP20, Planning Research Applications Group, Centre For Environmental Studies, London.

DICKINSON, G.C. et SHAW, M.G. 1978. The collection of national land use statistics in Great Britain. Environment and Planning A 10: 295-303.

DIDERIKSEN, R.I., HIDLEBAUGH, A.R., et SCHMUDE, R.O. 1977. Potential cropland study, 1975. Statistical Bulletin 578, Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, Washington.

FECSO, R. et JOHNSON, V. 1981. The new California frame: a statistical study. Statistical Reporting Service, U.S. Department of Agriculture, Washington.

FITZPATRICK-LINS, K. et CHAMBERS, M.J. 1977. Determination of accuracy and information content of land use and land cover maps at different scales. Remote Sensing of the Electro Magnetic Spectrum 4(4): 41-54.

FITZPATRICK-LINS, K. 1981. Comparison of sampling procedures and data analysis for a land-use and land-cover map. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 47(3): 343-51.

FOURNIER, P., GILG, J.P. et JEANTON, M. 1980. Utilisation de l'enquête Ter-Uti pour une cartographie de l'utilisation des terres. Rapport, Centre d'Études pour la Gestion des Ressources Naturelles, Ministère de l'Agriculture, Paris.

FRAZIER, B.E. et SHOVIC, H.F. 1980. Statistical methods for determining land- use change with aerial photographs. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 46(8): 1067-78.

FRONDORF, A.F., MCCARTHY, M.M. et RASMUSSEN, W.O. 1978. Data-intensive spatial sampling and multiple hierarchical clustering: methodological approaches toward cost-time efficiency in natural resource assessment. Landscape Planning 5: 1-25.

GG H GARNASJORDET, P.A. et LONGVA, P. 1979. Outline of a system of resource accounts: the Norwegian experience. Document préparé par un Groupe de Travail pour l'O.C.D.E., Réunion d'un Groupe de spécialistes Concernant la Condition de l'Environnement, Gordes, France; Unit for Resource Accounting, Central Bureau of Statistics of Norway, Oslo.

GIERMAN, D.M. 1981. Système de classification pour la surveillance de l'utilisation des terres. Document de travail No. 17, Direction Générale des Terres, Environnement Canada, Ottawa.

GIERMAN, D.M. 1982. Land activities and cover classes large enough in area for sampling in rural areas. Note de service à Paul Rump, 27 avril, 1982. Direction Générale des Terres, Environnement Canada, Ottawa.

HIXSON, M.M., DAVID, B.J., et BAUER, M.E. 1981. Sampling landsat classifications for crop area estimation. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 47(9): 1343-8.

HOLMES, J. 1967. Problems in locational sampling. Annals, Association of American Geographers 57: 757-80.

HORD, R.M. et BROONER, W. 1976. Land use map accuracy criteria. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 42(5): 671-7.

HOUSEMAN, E.E. 1975. Area frame sampling in agriculture. S.R.S. 20, Statistical Reporting Service, U.S. Department of Agriculture, Washington.

HOWARTH, P.J. 1982. Landsat simulation study of land cover/activity mapping in Southern Ontario. Rapport soumis à la Division de la Surveillance de l'Utilisation des Terres, avril 1982. Direction Générale des Terres, Environnement Canada, Ottawa.

HOWARTH, P.J. et WICKWARE, G.N. 1981. Procedures for change detection using landsat digital data. International Journal of Remote Sensing 3: 377-91.

I.N.S.E.E. (Institut National de la Statistique et des Études Économiques). 1980a. Recent developments in France concerning the use of landsat earth resources, satellite imagery for the collection of land use data. Document préparé pour la Réunion Concernant les Statistiques sur l'Utilisation des Terres, U.N.E.S.C.O., mars, 1980, I.N.S.E.E., Paris.

I.N.S.E.E. 1980b. Land use study. Document préparé pour la Réunion Concernant les Statistiques sur l'Utilisation des Terres, U.N.E.S.C.O., mars, 1980, I.N.S.E.E., Paris.

KISH, L. 1965. Survey sampling. Wiley, New York.

KOLBLE, O. et TRACHSLER, H. 1980. Regional land use survey based on point sampling on aerial photographs. Document présenté au 14e Congrès de l'Association International de Photogrammétrie, Hambourg; Institut de Photogrammétrie, Lausanne, Suisse.

LASKAR, D. 1974. Méthode de planimétrie statistique: application aux quatre départements centraux de la région parisienne. Rapport, Service Régional de l'Équipement de la Région Parisienne, Paris.

LENCO, M. 1973. Développement des statistiques d'occupation du sol en France. Document préparé pour le Séminaire Concernant les Statistiques sur l'Environnement, Varsovie; I.N.S.E.E., Paris.

MARIETTE, V. 1982. Document personnel préparé par V. Mariette pour ce projet, Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile-de-France, Paris.

MAURSEL, P.W., LEIVO, C.E., et LEWELLEN, M.T. 1976. Regional land use classification derived from computer processed satellite data. Journal of the American Institute of Planners 42: 153-64.

MILAZZO, V.A. 1980. A review and evaluation of alternatives for updating U.S. geological survey land use and land cover maps. Circular 826, U.S. Geological Survey, Washington.

MILAZZO, V.A. 1981. Strategy for selecting U.S. geological survey land use and land cover maps for photoinspection. Open File Report 81-707. U.S. Geological Survey, Reston, Va.

N.A.L.S. (National Agriculture Lands Study). 1981a. Final report. U.S. Government Printing Office, Washington.

N.A.L.S. 1981b. Agricultural land retention and availability: a bibliographic source book. U.S. Government Printing Office, Washington.

NETHERLANDS CENTRAL BUREAU OF STATISTICS. 1980. Experience gained in the Netherlands with the transformation of cartographical into numerical land use information. Document préparé pour la Réunion U.N.E.S.C.O. Concernant les Statistiques sur l'Utilisation des Terres, 1980, Netherlands Central Bureau of Statistics, The Hague.

NORWAY CENTRAL BUREAU OF STATISTICS. 1980a. Point sampling in Norwegian land use and environmental statistics. Document d'étude, Commission Economique de l'Europe. Central Bureau of Statistics, Oslo.

NORWAY CENTRAL BUREAU OF STATISTICS. 1980b. The provision for linkages to various data systems in the development of land use statistics in Norway. Document préparé pour la Réunion Concernant les Statistiques sur l'Utilisation des Terres, Commission Statistique et Commission Economique de l'Europe, Conférence des Statisticiens Européens, Conseil Economique et Social des Nations Unies, mars 1980.

P.S.U.T.C./ADMINISTRATION CENTRALE. 1980. Canada land use monitoring program prospectus;rural areas compoment. Document interne préparé par le P.S.U.T.C. Régional/Comité de l'Administration Centrale, Direction Générale des Terres, Environnement Canada, Ottawa.

POISSONET, J. 1968. Essai d'approche quantitative de l'interprétation des thèmes cartographiques de la végétation et de son écologie en Sologne. Document 44, Centre National de la Recherche Scientifique, Montpellier.

PRATT, W.L. 1974. The use of interpenetrating sampling in area frames. Statistical Reporting Service, U.S. Department of Agriculture, Washington.

QUENOUILLE, M.H. 1949. Problems in place sampling. Annals of Mathematical Statistics. 20: 355-75.

RHIND, D. et HUDSON, R. 1980. Land Use. Methuen, London and New York.

SAYN-WITTGENSTERN, L. et ALDRED, A.H.. 1976. Environmental monitoring: the role of remote sensing. Rapport préparé pour le Groupe de Travail sur la Surveillance Environnementale, Commission VII, 13e Congrès, Société Internationale de Photogrammétrie, Helsinki, 1976. Institut d'Aménagement Forestier, Service Canadien des Forêts, Ministère de l'Environnement, Ottawa.

S.C.E.E.S. (Service Central des Enquêtes et des Études Statistiques). 1975. Enquête utilisation du territoire 1975 et perspectives à moyen terme. Note VH/CB, Ministère de l'Agriculture, Paris.

S.C.E.E.S. 1976. Enquête utilisation du territoire 1976. Doc. Ter. Uti. 4, S.C.E.E.S., Ministère de l'Agriculture, Paris.

S.C.E.E.S. 1980. Enquête utilisation du territoire 1980: instructions. Doc. Ter. Uti. 3 S.C.E.E.S., Ministère de l'Agriculture, Paris.

SCHWARZ, D.E. et GAYDOS, L. 1975. Regional interpretability variations of land use using satellite data in digital and visual form. Remote Sensing of Earth Resources 8: 243-53.

STOW, D.A. et ESTES, J.E. 1981. Landsat and digital terrain data for county-level resource management. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 47(2): 215-22.

STRONG, W.L. et LEGGET, K.R. 1981. Ecoregions of Alberta. ENR Technical Report T/4. Alberta Energy and Natural Resources, Resource Evaluation and Planning Division, Edmonton.

TAYLOR, H.L. 1962. Statistical mapping for soil sampling for soil surveys. Series 5. Statistical Laboratory, Iowa State University, Ames, Iowa.

TODD, W.J. et GEHRING, D.G. 1980. Landsat wildland mapping accuracy. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 46(4): 509-20.

TRACHSLER, H., KOLBLE, O., MEYER, B. et MAHRER, F. 1981. Stichprobenweise Auswertung von Luftaufnahmen fur dire Erneuerung des Eidgenossischen Areal statistik. Bundesamt fur Statistik and Bundesamt fur Raumplanung, Berne.

U.K. DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT. 1974. DOE Statistics of land use change. Joint Circular 71/74. H.M.S.O., London.

U.S.D.A. STATISTICAL REPORTING SERVICE. 1981. The Sample, pp. 500-26, Section 5, in June Supervising and Editing Manual. Statistical Reporting Service, U.S. Department of Agriculture, Washington.

U.S. FOREST SERVICE. 1980. An assessment of the forest and rangeland situation in the United States. Forest Service, U.S. Department of Agriculture, Washington.

U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE. 1979. National resource inventories: summary. Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, Washington.

U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE. 1980. Soil and Water Resource Conservation Act Appraisals (RCA) - Review drafts (4 Vols.). Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, Washington.

WIGTON, W.H. et BORMANN, P. 1978. A guide to area sampling frame construction utilizing satellite imagery. Outer Space Affairs Division, United Nations, New York.

WOOD, W.F. 1955. Use of stratified random samples in a land use study. Annals, Association of American Geographers 45: 350-67.

YAMANE. T. 1967. Statistics: an Introductory Analysis (2nd. edn.). Harper and Row, New York.

YATES, 1965. Sampling methods for censuses and surveys (3rd. edn.). Charles Griffin and Co. Ltd., London.

LA SÉRIE DE DOCUMENTS DE TRAVAIL

No. 1: "L'écologie et la récupération des terres perturbées par l'activité minière: Bibliographie sélective de la littérature. I.B. Marshall. En 73-4/1-1. ISBN 0662-50724-X.

No. 2: "Analyse des expériences américaines dans la modification de l'utilisation des terres pour la conservation de l'énergie". W.R. Derrick Sewell et Harold D. Foster. En 73-4/2F. ISBN 0-662-90808-2.

No. 3: "Les effets de l'établissement d'ex-citadins en milieu rural: une rétrospective de la littérature canadienne". James D. McRae. En 73-4/3F. ISBN 0-662-90809-0.

No. 4: "Incidences des programmes fédéraux sur les terres dans le district régional de la vallée de la Cowichan en Colombie-Britannique". Lorna R. Barr. En 73-4/4F. ISBN 0-662-90810.4.

No. 5: "L'effet sur l'utilisation des terres agricoles des politiques et programmes du gouvernement fédéral dans le comté de Kings en Nouvelle-Écosse": S.G. Ryle et P. Gervason. En 73-4/5F. ISBN 0-662-90811-2.

No. 6: "Conservation de l'énergie par la planification de l'utilisation des terres: Synthèse du symposium de Montréal, 26-28 mars 1980". W.R. Derrick Sewell et Harold D. Foster. En 73-4/6F. ISBN 0-662-11088-9.

No. 7: "Procédés d'évaluation au Canada et leur utilisation dans la préservation des terres agricoles". James D. McCuaig et Heather J. Vincent. En 73-4/7F. ISBN 0-662-90813-9.

No. 8: "Les effets des programmes fédéraux sur l'utilisation des terres dans la vallée de Windermere". J.D. McCuaig et E.W. Manning. En 73-4/8F. ISBN 0-662-91109-1.

No. 9: "Problématique de l'utilisation du sol au Canada". E.W. Manning. En 73-4/9. ISBN 0-662-51142-5.

No. 10: "Établissement d'une échelle de vulnérabilité écologique aux précipitations acides: Étude d'impact". Document général et résultats d'une conférence sur les indices d'une échelle relative au transport des pluies acides sur de grandes distances. Évaluation d'impact du groupe de travail Canada / Etats-Unis, Détroit (Michigan), 2 décembre 1980. D.W. Cowell, A.E. Lucas et C.D.A. Rubec. En 73-4/10F. ISBN 0-662-91106-7.

No. 11: Les effets des ports pour petits bateaux sur l'utilisation des terres: une étude préliminaire. E.W. Manning, J.D. McCuaig, V.P. Neimanis et E.M. Peterson. En 73-4/11F. ISBN 0-662-91112-1.

No. 12: "Les terres et l'automobile: Bibliographie sélective". Wendy Simpson-Lewis et Ruth McKechnie. En 73-4/12. ISBN 0-662-51259-6.

No. 13: "L'utilisation agricole des terres de faible rendement: résumé et bibliographie". K.G. Beattie, W.K. Bond et E.W. Manning. En 73-4/13F. ISBN 0-662-91113-X.

No. 14: "Systèmes de classification de l'utilisation des terres: aperçu général". Robert C. Scace. En 73-4/14F. ISBN 0-662-91097-4.

No. 15: "Enquête sur les besoins des usagers en matière de données sur l'utilisation des terres: programme de surveillance de l'utilisation des terres au Canada". D.M. Gierman. En 73-4/15F. ISBN 0-662-91098-2.

No. 16: "Problèmes associés à la cartographie des boisés improductifs utilisant le système de classification de l'utilisation des terres de l'ITC: région d'Halifax, Nouvelle-Écosse". Peter N. Duinker. En 73-4/16F. ISBN 0-662-91099-0.

No. 17: "Système de classification pour la surveillance de l'utilisation des terres". D.M. Gierman. En 73-4/17F. ISBN 0-662-91100-8.

No. 18: "Étude des basses terres de la baie d'Hudson: Revue de la documentation et bibliographie annotée". D.W. Cowell. En 73-4/18E. ISBN 0-662-11539-2.

No. 19: "Les caractéristiques des écosystèmes terrestres touchées par les précipitations acides au Canada". C.D.A. Rubec. En 73-4/19F. ISBN 0-662-11562-7.

No. 20: "Inventaire des données sur les terres sous gestion fédérale". A.R. Petch et S. Macenko. En 73-4/20F. ISBN 0-662-91804-5.

No. 21: Incidences des activités fédérales sur l'utilisation des terres fruitières: vallée de l'Annapolis. Paul D. Bircham. En 73-4/21F. ISBN 0-662-91567-4.

No. 22: L'établissement d'ex-citadins en milieu rural: étude de cas dans la proche campagne de Montréal et Ottawa. James D. McRae. En 73-4/22F. ISBN 0-662-91416-3.

No. 23: Méthodes d'évaluation des répercussions sur l'espace rural des futures expansions urbaines. Chris Coklin et Barry Smit. En 73-4/23F. ISBN 0-662-91655-7.